

EDGARD BATTISTI GUIMARÃES

**SENSORES DE INDUÇÃO E RFID APLICADOS À NAVEGAÇÃO
AUTO-GUIADA DE CADEIRAS DE RODAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, na área de concentração em Automação.

Orientador: Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho.

VITÓRIA
2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

G963s Guimarães, Edgard Battisti, 1960-
 Sensores de indução e RFID aplicados à navegação auto-
 guiada de cadeiras de rodas / Edgard Battisti Guimarães. – 2008.
 100 f. : il.

 Orientador: Teodiano Freire Bastos Filho.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito
 Santo, Centro Tecnológico.

 1. Indução eletromagnética. 2. Cadeiras de rodas. 3.
 Navegação de robôs móveis. I. Bastos Filho, Teodiano Freire. II.
 Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III.
 Título.

CDU: 621.3

EDGARD BATTISTI GUIMARÃES

**SENSORES DE INDUÇÃO E RFID APLICADOS À NAVEGAÇÃO
AUTO-GUIADA DE CADEIRAS DE RODAS**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisição parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica - Automação.

Aprovada em 24 de junho de 2008.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Paulo Farias Santos Amaral
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Sadek Crisostomo Absi Alfaro
Universidade de Brasília

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma são ou foram especialmente importantes em minha vida, como meus queridos e saudosos avós, meus irmãos, sobrinhos e tantos outros, aos quais peço licença para evidenciar os nomes daqueles que, ao longo deste Curso de Mestrado, me acompanharam de forma singular:

À minha família, **Luciene, Gabriel e Carol** que são a motivação essencial da minha vida e não menos deste trabalho.

À minha mãe, **Marly**, que soube tornar possíveis os sonhos de todos nós e assim nos ensinou a convertê-los em realizações, com seu amor, firmeza e abnegação.

Às minhas mais-que-tias **Anita e Dinha**, que como mães também, estiveram e estão sempre presentes em minha vida.

Ao **meu pai, Edgard** (†27/03/2005):

Engenheiro modelo, de engenhos e de vida, e companheiro de tantos e tantos trabalhos realizados juntos. A quem as minhas mãos apenas tentam imitar...

Agradecimentos

Agradeço aos meus professores pelos ensinamentos transmitidos e pela inabalável dedicação.

Ao Prof. Paulo Amaral pelo incentivo e oportunidade que me abriu no ingresso a este Mestrado e pelas muitas contribuições ao longo do mesmo.

Ao Prof. Teodiano pelo valor inestimável de sua orientação.

Resumo

Este trabalho faz parte de um projeto mais amplo de uma cadeira de rodas robótica destinada a pessoas com deficiência motora severa. Dentre os diversos recursos necessários para o funcionamento da cadeira de rodas, evidenciou-se a necessidade da incorporação de um método de navegação especializado em passagens complexas ou estreitas, tais como portas e outros trajetos difíceis de serem resolvidos por métodos de navegação dinâmicos, também presentes no mesmo veículo. O trabalho, então, manteve o seu objetivo centrado na busca de uma solução de navegação de alta confiabilidade e precisão, com exigências adicionais de baixo custo da solução e facilidade de implantação, necessários à utilização em ambientes domésticos. Foi realizado um estudo de alternativas dentre os métodos de navegação empregados, concluindo-se pela adoção da metodologia dos Veículos Auto Guiados (AGV), mas adaptado, com outras técnicas de sensoriamento, para que permitissem a utilização nestes propósitos e contexto. O trabalho, assim orientado, resultou no desenvolvimento e aplicação de um sensor de indução para rastreamento de trilhas passivas implantadas no piso (de passagens críticas) e na adoção de dispositivos RFID (*Radio Frequency IDentification*) para identificação de pontos e locais importantes de um ambiente ao longo das trilhas. Os resultados obtidos demonstraram que o método de navegação desenvolvido no trabalho, além de superar as expectativas dos objetivos originais, mostrou-se de tal forma versátil, econômico e de simples aplicação, que, ficou evidente a sua aplicabilidade em desafios diversos da problemática de navegação robótica, em especial na cadeira de rodas na qual foi implantado. Agregou valor ao projeto como um todo, na forma de solução acessível e confiável de navegação, aproximando-o cada vez mais do seu propósito de prover um grau de autonomia significativamente maior a pessoas com deficiências motoras muito severas.

Abstract

This work is part of a larger project of a robotic wheelchair, for people with severe motion disability. Among various resources needed to the wheelchair functioning, it was clear the need of a navigation method for narrows and complex paths, like doors and others, hard to be tracked by dynamic navigational methods, also present in the vehicle. So this work kept its attention in finding a stable and precise navigation solution, with additional characteristics of low cost and facility of implementation, important to domestic environment applications. A research for alternatives was made, where was found that the AGV (Auto Guided Vehicles) navigation method would be the best choice, but, having to use different techniques. The work, oriented by this way, resulted in an inductive sensor development and application, for tracking passive trails on the floor, and in the adoption of RFID (Radio Frequency Identification) technology, to identify points of interest along the trails. The achieved results had demonstrated that the navigation method developed in this work, had surpassed the original goals expectations, revealed in such a way versatile, economic and of easy application that became evident its applicability in various challenges in robotic navigation, specially in the wheelchair in which it was implanted. The work added value to the project as a whole, in the form of accessible and trustworthy navigation solution, to provide significantly bigger autonomy to the people with very severe motion disabilities.

Sumário

1.	Introdução.....	11
1.1	O contexto do projeto	11
1.2	O projeto	12
1.3	O objetivo e escopo deste trabalho	13
1.4	Justificativa para a realização deste trabalho.....	14
2.	O estado da arte em veículos auto-guiados	16
2.1	Veículos auto-guiados – AGVs, LGVs, AS/RS e similares	16
2.2	Sistemas de navegação empregados em AGVs:.....	17
2.3	Funcionamento dos sistemas de navegação por caminhos dinâmicos	17
2.4	Funcionamento dos sistemas de navegação por caminhos fixos	19
2.5	A seleção de uma solução para o problema proposto.....	19
2.6	Confrontação das alternativas disponíveis com os requisitos do projeto	20
2.7	As opções adotadas.....	20
3.	A solução no contexto do projeto da cadeira de rodas	22
3.1	Diagrama funcional do projeto e relacionamento entre seus módulos.....	22
3.2	Descrição do funcionamento da cadeira de rodas com as trilhas passivas.....	23
3.3	Alternativas de configuração das trilhas.....	24
3.4	Placa de controle de periféricos - ponte H e controlador PI	25
3.5	A Interface com o usuário e o equipamento PDA	30
3.6	O programa de interface com o usuário	31
3.7	O protocolo de comunicação entre o PDA e o processador de bordo	33
3.8	O processador de bordo – Mini-ITX	35
4.	Desenvolvimento do sensor de indução	36
4.1	Descrição geral	36
4.2	Funcionamento	36
4.3	Sensibilidade e imunidade a ruídos	38
4.4	Circuito Excitador / Decodificador - Descrição do ciclo de funcionamento.....	39
4.5	Detalhamento do funcionamento do circuito.....	40
4.6	Placa de circuito impresso e sua calibração.....	42
4.7	Estados de funcionamento do circuito.....	43
4.8	Aspectos físicos do sensor e dispositivo de ajuste fino	44
4.9	Ajustes e testes de bancada do sensor de indução	46
5.	Identificação de pontos e locais importantes com sensores RFID	47
5.1	Objetivos específicos, requisitos e considerações de projeto	47
5.2	O que é RFID.....	47
5.3	Características dos sistemas de identificação por meio de etiquetas RFID.....	48
5.4	A Tecnologia da etiqueta RFID.....	49
5.5	O protocolo de comunicação entre a leitora e as etiquetas.....	50
5.6	Seleção de componentes RFID para aplicação neste trabalho	54
5.7	Aquisição, custos	55
5.8	Testes realizados e resultados.....	55
5.9	Interface de dados entre o leitor RFID e o sistema principal (PC).....	56
6.	Implantação dos sensores na cadeira de rodas	58
6.1	Considerações sobre o posicionamento dos sensores de indução	58
6.2	Considerações sobre o posicionamento do leitor RFID	59
6.3	Conexões elétricas entre a placa do sensor de indução e a placa de periféricos	60
6.4	Conexões elétricas entre o leitor RFID e o sistema da cadeira de rodas	60
6.5	Desenvolvimento do software de controle de navegação.....	61

6.6	Formatos das mensagens trocadas com a placa de controle de periféricos	62
6.7	O algoritmo de aproximação	62
6.8	O algoritmo de navegação auto-guiada	62
7.	Teste integrado – motores, sensores e algoritmos	64
7.1	Montagem das trilhas de teste	64
7.2	Montagem de caminho de teste em um ambiente real.....	64
7.3	A infra-estrutura utilizada para os testes	65
7.4	O robô de testes	67
7.5	Os testes e os resultados obtidos	69
7.6	Testes realizados na cadeira de rodas.....	70
8.	Conclusões.....	72
	Bibliografia.....	73
Anexo I	Descrição e pinagem dos conectores do sensor de indução	75
Anexo II	Programa do sensor de indução (PIC16F628).....	76
Anexo III	Programa C – rotinas de abordagem e navegação.....	82
Anexo IV	Tópicos complementares sobre RFID	85
	Histórico da tecnologia RFID.....	85
	Exemplos de usos de RFID	88
	Exemplos de usos de RFID	88
	O Desafio da Década Atual - RFID na Cadeia de Suprimentos.....	91
	EAN BRASIL - Os Padrões Sobre RFID no Brasil	93
	A EAN International.....	95
	Os Padrões Publicados pela EPCGlobal.....	97

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Mensagens de envio de dados do computador de bordo ao PDA.....	34
Tabela 4.2 - Protocolo de envio de dados do PDA para o computador de bordo.....	35
Tabela 9.1 - Possíveis estados dos sensores de indução vindos da placa de periféricos.....	62
Tabela 10.1 - Velocidade média alcançada nos testes.....	69

Lista de Ilustrações

Fig. 1.1 - Ambiente mapeado e comandos utilizados na navegação.	12
Fig. 1.2 - O projeto e seus componentes antes do presente trabalho.	14
Fig. 2.1 - AGV atuando em uma fábrica de transformadores.	16
Fig. 2.2 - Reconhecimento do ambiente com o uso de sistemas de varredura <i>laser</i>	17
Fig. 2.3 - Veículo LGV operando em ambientes escaneados a laser com emprego de balizas	18
Fig. 2.4 - Sistema de navegação por caminhos fixos.	19
Fig. 3.1 - Descrição geral dos módulos do projeto.	23
Fig. 3.2 - Esquema geral da solução (vista superior).	24
Fig. 3.3 - Ponte H que controla os motores da cadeira de rodas.	26
Fig. 3.4 - Diagrama de blocos de um controlador PI.	28
Fig. 3.5 – Diagrama de blocos do controlador PI utilizado no projeto.	29
Fig. 3.6 - Gráfico teórico do sinal de retorno com elemento integrativo.	29
Fig. 3.7 - Axim X50 da DELL.	31
Fig. 3.8 - Navegação entre as telas do CCRR.	31
Fig. 3.9 - Tela "CONTROLADOR" do programa CCRR.	33
Fig. 4.1 - Esquema eletromagnético do sensor de indução.	36
Fig. 4.2 - Ondas dos dois circuitos LC sobrepostas com mesma frequência e tensão.	37
Fig. 4.3 - Ondas dos dois circuitos LC influenciados pela placa condutora.	37
Fig. 4.4 - Ciclo completo de detecção.	39
Fig. 4.5 - Diagrama de blocos do excitador / decodificador.	40
Fig. 4.6 - Diagrama esquemático do circuito dos sensores de indução.	41
Fig. 4.7 - Placa de circuito impresso do sensor de indução.	42
Fig. 4.8 - Construção dos elementos do sensor de indução.	44
Fig. 4.9 - Conjunto de antenas dos sensores 1 e 2 (cinza), haste e estojo do circuito.	44
Fig. 4.10 - Detalhe do elemento de calibração (sensor 2).	45
Fig. 5.1 - Elemento de uma etiqueta RFID – Antena e chip.	49
Fig. 5.2 - Processo de calibração do oscilador da etiqueta.	50
Fig. 5.3 - Processo de calibração dos sinais de dados – zero, um e <i>null</i>	51
Fig. 5.4 - Identificação e leitura de múltiplas etiquetas simultaneamente.	52
Fig. 5.5 – Esquema de transmissão dos bits de identificação.	53
Fig. 5.6 - Módulo leitor Acura AP-30.	54
Fig. 5.7 - Níveis de sinal elétrico no fio de dados.	57
Fig. 6.1 - Posicionamento do sensor de indução na cadeira de rodas robótica.	58
Fig. 6.2 - Esquema de posicionamento do leitor RFID na cadeira de rodas robótica.	59
Fig. 6.3 – Foto do leitor RFID implantado na cadeira de rodas robótica.	59
Fig. 6.4 - Conexões dos sinais lógicos do sensor de indução na placa de periféricos.	60
Fig. 6.5 - Cadeira de rodas na fase de aproximação.	61
Fig. 7.1- Tiras básicas para construção das trilhas de teste.	64
Fig. 7.2 - Planta baixa representando a trilha de testes.	65
Fig. 7.3 - O robô NXT utilizado nos testes.	66
Fig. 7.4 - O robô de testes.	67
Fig. 7.5 - Vista frontal do robô de testes.	68
Fig. 7.6 - Detalhe do sensor de indução sob o robô de testes.	68
Fig. 7.7 - Trilha montada para testes finais em uma porta de 80 cm.	71

1. Introdução

1.1 O contexto do projeto

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) possui um grupo de pesquisa em Tecnologias de Apoio a Pessoas Portadoras de Deficiência, o qual vem desenvolvendo vários trabalhos relacionados à tecnologia assistiva para pessoas portadoras de deficiência, tais como:

- Desenvolvimento de Sensor Mioelétrico para Uso em Próteses de Membro Superior (Braço e Antebraço);
- Desenvolvimento de Sensor de Temperatura para Uso em Próteses (Mão Artificial);
- Desenvolvimento de Sensor de Força e Deslizamento para Uso em Próteses (Mão Artificial);
- Sistema de Controle de Próteses Adaptativas para Membros Superiores;
- Estudo, Caracterização e Modelagem de Atuadores Piezelétricos para Próteses;
- Construção de uma Prótese Mioelétrica de Membro Superior, com Sensores de Temperatura, Força e de Nível de Bateria;
- Desenvolvimento de Sensor Ultra-Sônico para Auxílio à Locomoção de Deficientes Visuais;
- Desenvolvimento de um Sistema de Comunicação por Rádio Frequência entre Deficientes Visuais e Condutores de Ônibus Urbanos;
- Controle de robôs móveis a rodas com base no processamento de sinais eletro-biológicos;
- Seleção de Símbolos Pictográficos em Tabuleiro Eletrônico Através de Sinais de eletromiograma (EMG).

Esses e outros projetos de pesquisa em que o grupo participa estão disponíveis nas Páginas Web:

<http://www.ele.ufes.br/~tfbastos/grupoufes.htm> e
<http://www.ele.ufes.br/pesq/robotica.html>.

1.2 O projeto

O trabalho objeto da presente Dissertação de Mestrado está inserido em um projeto mais amplo de uma cadeira de rodas robótica, capaz de locomover-se em ambientes interiores mapeados dinamicamente e controlada por sinais mioelétricos (EMG), associados às piscadas de olhos, sinais eletrooculográficos (EOG) e videooculográficos (VOG), que são sinais produzidos pelo movimento do globo ocular, e sinais eletroencefalográficos (EEG), empregados de acordo com as capacidades motoras e do grau de deficiência do usuário. Nesta cadeira de rodas, a seleção da localização de destino é feita com auxílio de um tabuleiro eletrônico com varredura automática, em um PDA, no qual se encontra o mapa de comandos ou opções do usuário, conforme exemplos nas Fig. 1.1 (a e b).

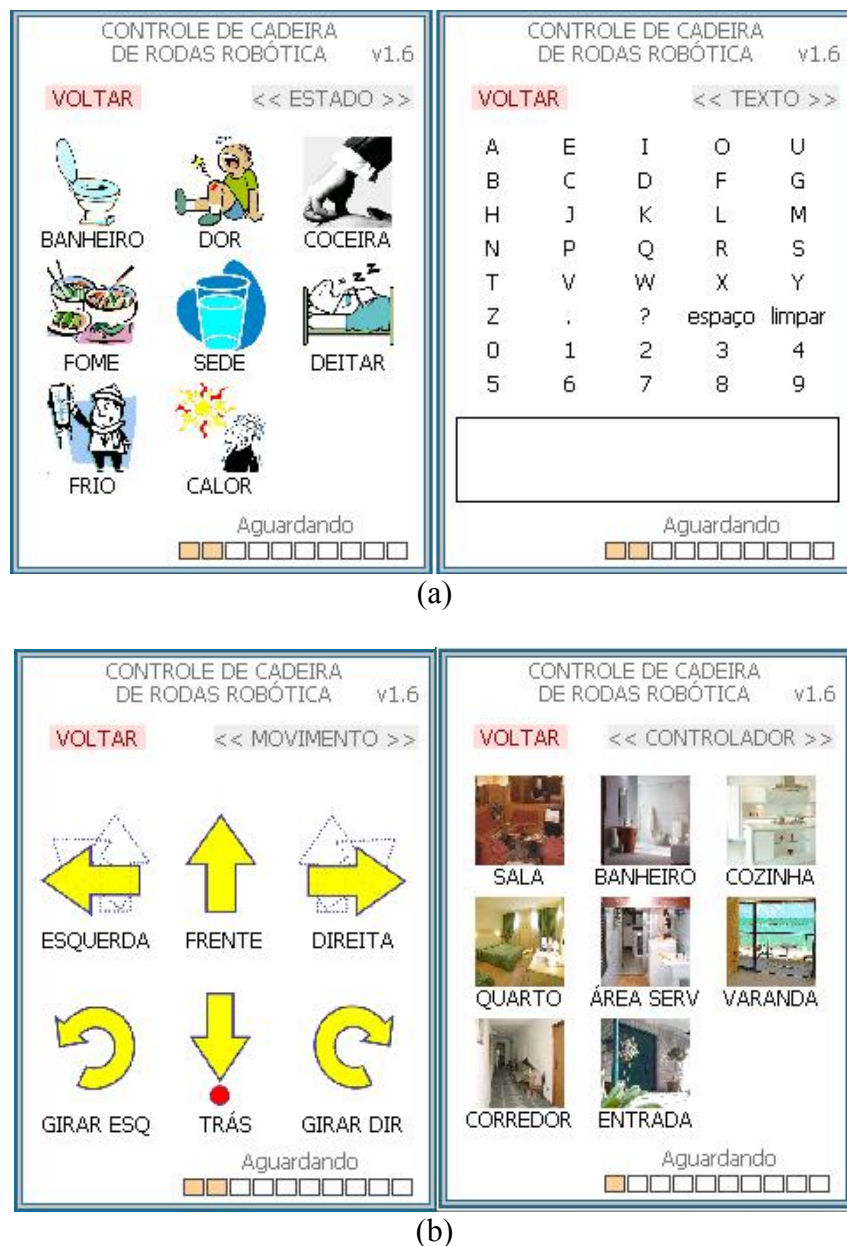


Fig. 1.1 - Ambiente mapeado e comandos utilizados na navegação.

A terminologia a ser adotada no decorrer desta Dissertação de Mestrado considera que o termo “projeto” estará sempre se referindo ao conjunto do sistema de locomoção, ou seja, à cadeira de rodas robótica e seus equipamentos. O termo “trabalho”, por sua vez, estará se referindo aos módulos do projeto desenvolvidos como escopo desta Dissertação de Mestrado.

1.3 O objetivo e escopo deste trabalho

Este trabalho tem como objetivo, dotar o projeto da cadeira de rodas robótica, de uma técnica de navegação para transposição, em segurança, de trechos particularmente complexos, como os caracterizados por passagens estreitas e portas. Isto será alcançado pela adoção de recursos de navegação apropriados ao problema que se apresenta e que se comporá, conforme detalhado ao longo deste trabalho, no desenvolvimento de um sensor de indução capaz de rastrear trilhas condutoras passivas e no emprego de um leitor de RFID e etiquetas correspondentes, incluindo a avaliação e seleção dos dispositivos apropriados. Complementar-se-á pelo desenvolvimento dos módulos em software associados à navegação pelas trilhas, juntamente com o processamento do sinal fornecido pelas etiquetas RFID. Apresenta com algum detalhamento, trabalhos correlatos tais como a interface gráfica com o usuário e o controlador de baixo nível dos motores da cadeira de rodas, desenvolvidos em trabalhos paralelos. Resumidamente, os principais tópicos deste trabalho são:

- **O estado da arte em veículos auto-guiados:**
Análise da tecnologia correntemente empregada em veículos auto-guiados (AGVs – *Auto Guided Vehicles*), descrevendo as tecnologias normalmente empregadas nesses veículos e apresentando diversos exemplos de aplicações práticas.
- **A opção por desenvolver tecnologia voltada à aplicação e o detalhamento do desenvolvimento do sensor de indução:**
Definição dos níveis de exigência na condução do veículo móvel quanto à precisão do traçado e confiabilidade, avaliação de alternativas frente às condições específicas do projeto da cadeira de rodas, como custo e adaptabilidade de ambientes existentes. Opção pelo desenvolvimento de uma tecnologia de sensor orientado às características e exigências do projeto e detalhamento das estratégias adotadas na sua aplicação.
Detalhamento dos aspectos funcionais e construtivos deste sensor e do seu funcionamento, que se baseia em indução eletromagnética (correntes de Foucault), bem como da localização e fixação dos sensores na cadeira de rodas robótica.
- **A identificação de ambientes e pontos notáveis com sensores RFID:**
Descrição da aplicabilidade desta versátil tecnologia, os conceitos e padrões envolvidos, a seleção dos componentes RFID comercialmente disponíveis e os testes de aferição da sua aplicabilidade aos propósitos do projeto da cadeira de rodas robótica.
- **Desenvolvimento do software de controle de navegação:**
Descrição do software desenvolvido para controle do movimento da cadeira de rodas sobre uma trilha de alumínio e da captura das leituras de etiquetas RFID usadas, entre outros fins, como delimitador para a navegação nas trilhas.
- **Testes:**
Descrição do ambiente de testes, da execução dos testes e detalhamento dos dados e resultados obtidos.
- **Continuidade do trabalho e conclusões:**
O escopo coberto pelo presente trabalho e suas possibilidades atualmente perceptíveis de evolução, e a avaliação geral do trabalho realizado e seus resultados.

A Fig. 1.2 representa o estágio em que se encontra a cadeira de rodas (projeto) ainda sem incluir os dispositivos desenvolvidos neste trabalho.



Fig. 1.2 - O projeto e seus componentes antes do presente trabalho.

1.4 Justificativa para a realização deste trabalho.

- **Número crescente de usuários**

Nos últimos anos, a expectativa de vida da população mundial tem aumentado bastante. Devido a esse fato, observa-se que o número de pessoas com algum tipo de deficiência também cresceu, aumentando o número de usuários de cadeiras de rodas. Além disso, muitos dos usuários dessas cadeiras necessitam de algum tipo de ajuda para locomover-se o que os torna muito dependentes. A diminuição do preço dos computadores pessoais possibilitou o uso dos mesmos a bordo dessas cadeiras de rodas, agregando alguma “inteligência” ao dispositivo e diminuindo, assim, a dependência dos usuários de assistência externa.

- **Necessidade de atender a usuários com muitas limitações**

Um dos problemas encontrados por pessoas com deficiência se refere à mobilidade nas instalações públicas e domiciliares e nas áreas de circulação. Quando o usuário possui uma capacidade de manipulação intacta, ele pode utilizar um *joystick* para controlar uma cadeira de rodas motorizada. Entretanto, quando a pessoa com deficiência possui uma mobilidade muito reduzida ou nula, tal como é o caso de pessoas tetraplégicas, com Esclerose Lateral Amiotrófica, tumores na Medula Espinhal, alguns tipos de Distrofia

Muscular e outros tipos de deficiência, ela pode passar o resto de sua vida em completo estado de isolamento, devido à dificuldade (ou impossibilidade) de comunicação e impossibilidade de locomoção.

- **Exigência de alternativas tecnológicas confiáveis e praticáveis**

A utilização do veículo por pessoas pressupõe o uso de soluções predominantemente confiáveis, acima de outras considerações de projeto. A flexibilidade e a viabilidade de custos são de muita relevância para que a solução atinja o seu objetivo e para que o seu emprego efetivo seja viável em residências e outros recintos de uso geral.

2. O estado da arte em veículos auto-guiados

O conjunto de métodos, técnicas e princípios físicos aplicados a sensores destinados a apoiar a movimentação de dispositivos robóticos é muito amplo, dinâmico e com novas abordagens sendo desenvolvidas e aplicadas em situações práticas a cada dia. O presente capítulo concentra-se em apresentar a tecnologia mais difundida e consolidada dentre as que são empregadas em aplicações notadamente estáveis e de grande confiabilidade no momento atual.

2.1 Veículos auto-guiados – AGVs, LGVs, AS/RS e similares

Atualmente, equipamentos auto-guiados executam transporte de cargas entre etapas de processos produtivos nas indústrias e em armazéns, na estocagem e recuperação de mercadorias. Esses sistemas industriais, pela sua capacidade de navegação auto-guiada, são denominados genericamente por AGV (*Auto Guided Vehicles* - Fig. 2.1), podendo, em vista de características específicas, ser chamados também por LGV (*Laser Guided Vehicles*), AS/RS (*Automatic Storage / Retrieval System*) e outras variações.

A utilização de robótica na indústria vem evoluindo a passos largos ao lado da evolução das tecnologias correlatas, em hardware e software, que vão desde a eletrônica de integração em larga escala, que resulta em processadores e sistemas de memória cada vez menores, mais acessíveis e poderosos, até o desenvolvimento de algoritmos cada vez mais sofisticados em diversos segmentos, como visão artificial e equilíbrio de robôs caminheiros. A tecnologia de veículos auto guiados não é propriamente recente; os primeiros robôs industriais começaram a funcionar em 1961 (aplicações de soldagem, na General Motors) sendo que na década de 70 começaram a surgir nas indústrias as primeiras aplicações de robôs móveis (Álvares, 2002; Ribeiro, 2004).



Fig. 2.1 - AGV atuando em uma fábrica de transformadores.

As principais características dos AGVs são:

- Movimentação sem intervenção humana.
- Capacidade de responder a requisições de tarefas de transporte entre dois pontos, selecionando automaticamente as rotas apropriadas.

- Possuem sistema de gestão de tráfego, permitindo a atuação de vários AGVs em um mesmo ambiente, com sensores para evitar colisões e acidentes.
- O seu porte vai de pequenos dispositivos distribuidores de correspondência e papel até equipamentos com capacidade de centenas de toneladas, operando em minas.
- Podem ser equipados com dispositivos para transferência de carga.

2.2 Sistemas de navegação empregados em AGVs:

Existem diversos métodos de navegação usados em AGVs, podendo ser do tipo caminho fixo ou dinâmico. A escolha de um ou outro, depende de aspectos como necessidades frequentes (ou não) de refazer as configurações nos caminhos e dos custos de implantação, onde os sistemas de caminhos dinâmicos são mais caros, entretanto, a mudança no *layout* de rotas nestes é muito mais simples, rápida e econômica. Em contraste, os sistemas de caminho fixo apresentam robustez e confiabilidade superiores (Rocha, 2001).

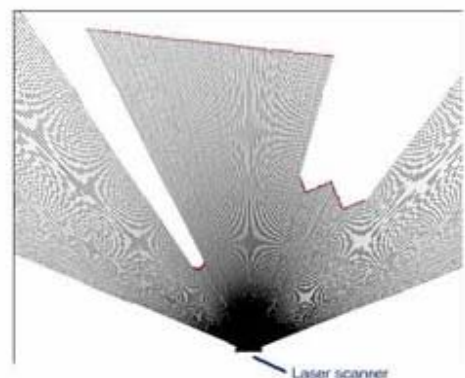
2.3 Funcionamento dos sistemas de navegação por caminhos dinâmicos

Existem diversas tecnologias utilizáveis em sistemas de navegação por caminhos dinâmicos, mediante sensores externos diversos (ultra-som, infravermelho, *laser*, etc.). Dentre as abordagens mais adotadas na indústria estão as que empregam sistemas de varredura *laser*. Estes sistemas obtêm distâncias através de *lasers*, tendo o seu funcionamento baseado no princípio do tempo de voo, e permitem o reconhecimento espacial do ambiente por serem usados em combinação com mecanismos de varredura com expressiva acuidade angular (até 0,25%). A Fig. 2.2a apresenta um ambiente real enquanto na Fig. 2.2b observa-se o correspondente mapeamento deste ambiente realizado pelo sistema de varredura *laser* (Ribeiro, 2004).

Os sistemas de navegação que se valem desta tecnologia são denominados também por LGVs (*Laser Guided Vehicles*), embora permaneçam igualmente qualificáveis como AGVs.



(a)



(b)

Fig. 2.2 - Reconhecimento do ambiente com o uso de sistemas de varredura *laser*.

Em sistemas auto-guiados do tipo LGV, adota-se também soluções a laser combinados com balizas refletoras estrategicamente localizadas no ambiente, permitindo associar o posicionamento preciso das balizas com um mapeamento de rotas previamente determinadas no ambiente. A vantagem deste sistema para o AGV convencional está na facilidade de reconfiguração do *layout* fabril. A Fig. 2.3 apresenta um sistema LGV operando sob este princípio, onde, nas duas figuras à direita, podem-se observar os esquemas de arranjo das balizas no ambiente.

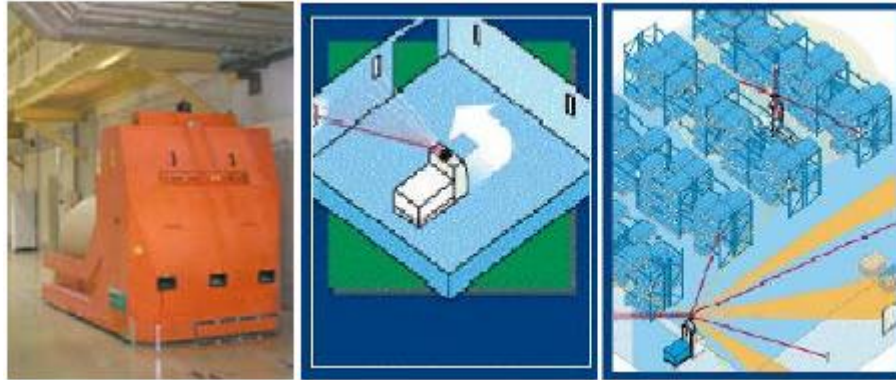


Fig. 2.3 - Veículo LGV operando em ambientes escaneados a *laser* com emprego de balizas

Outros exemplos de posicionamento dinâmico são os sistemas de GPS (*Global Positioning System*), que só podem ser usados em áreas externas, e sistemas LPS (*Local Positioning Systems*), compostos por balizas próximas, que são geradoras de sinais de rádio codificados. Nos LPS e GPS, a medição cronométrica da diferença de tempo entre os sinais recebidos de diferentes fontes, determina, por triangulação, a posição do veículo no ambiente. Como exemplo, os navios e aviões modernos são equipados com navegação via GPS, e cumprem trajetos automatizados que normalmente representam trechos de uma viagem, embora sejam mantidos sob supervisão constante dos pilotos por motivos de segurança.

Atualmente, com a grande disponibilidade a baixo custo de câmeras de vídeo capazes de captar imagens detalhadas e a cores do ambiente, um grande progresso vem acontecendo no aprimoramento de sistemas de “visão” artificial para navegação robótica por rotas dinâmicas.

2.4 Funcionamento dos sistemas de navegação por caminhos fixos

Apesar da existência de sistema de navegação por caminhos dinâmicos, a navegação por caminhos fixos é a comumente encontrada em indústrias e armazéns. Estes sistemas utilizam, implantado sob o piso, um fio ao longo do traçado das rotas, alimentado por corrente alternada. O veículo orienta-se pelo campo eletromagnético desta corrente, por meio de um sensor diferencial no veículo, composto por duas antenas, conforme o esquema apresentado na Fig. 2.4 (Rocha, 2001), onde a tensão diferencial “ v ” indica a posição relativa entre o sensor e a trilha eletromagnética. Este tipo de navegação por caminhos fixos é o utilizado neste trabalho.

A navegação por caminhos fixos pode ser construída por diversas técnicas além da apresentada, como por exemplo, uma simples faixa pintada no chão de uma cor particular, detectada por sensores ópticos embarcados no veículo. O uso deste tipo de recurso é limitado pela facilidade de interferência nas trilhas, pela luz ambiente, ou interrupção, por sobreposição de papéis ou objetos sobre as trilhas.

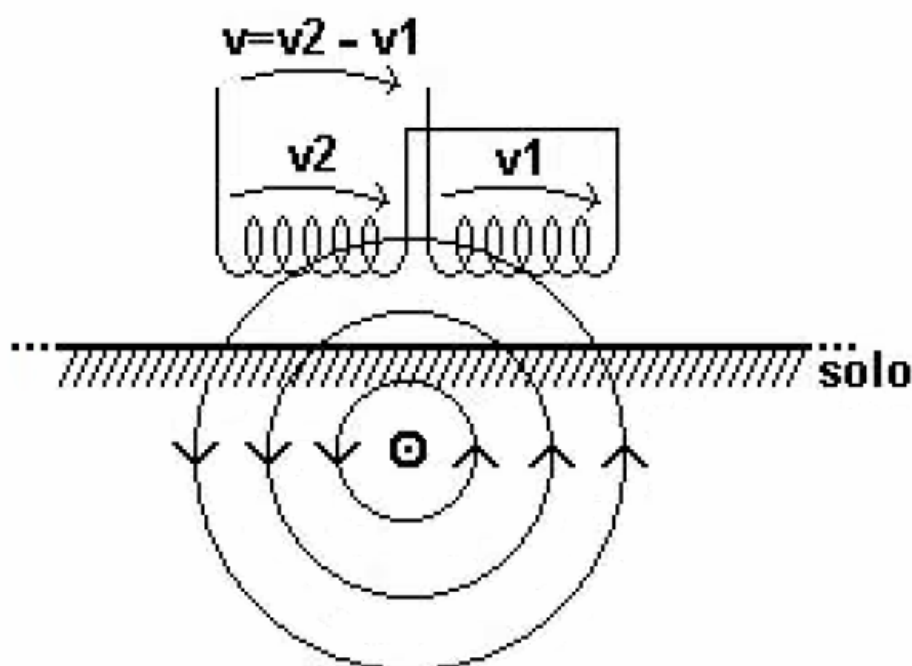


Fig. 2.4 - Sistema de navegação por caminhos fixos.

2.5 A seleção de uma solução para o problema proposto

A seleção dos métodos e técnicas mais adequados para atender ao projeto parte das premissas de confiabilidade exigidas pela utilização humana que se faz da cadeira de rodas e pela viabilização de uso do projeto, do ponto de vista econômico, pela maior parcela possível dos

seus usuários potenciais. Os ambientes de funcionamento de tais dispositivos são necessariamente diversos e razoavelmente dinâmicos, exigindo da solução, características como esforço, tempo e custos reduzidos, tanto na implantação quanto nas prováveis modificações futuras das rotas.

2.6 Confrontação das alternativas disponíveis com os requisitos do projeto

As soluções consideradas estáveis, apesar de confiáveis, mostraram-se pouco indicadas para a aplicação pretendida. Os dispositivos baseados em trilhas a fio, exigem uma instalação complexa no ambiente e muito pouco flexível para rearranjos futuros. A manutenção de sinais elétricos ativos nas trilhas não se revelou adequado para uma solução que exige muitos e pequenos segmentos isolados e espalhados por todo o ambiente. A adaptação de fios com garantia de continuidade elétrica no solo requer proteção mecânica recomendando a sua instalação sob o acabamento, o que é extremamente desfavorável para sistemas destinados a residências e espaços análogos. A navegação dinâmica com precisão suficiente para transpor passagens críticas, tais como portas, exige determinação precisa da localização, o que, dentro das tecnologias disponíveis, leva ao uso de sistemas de varredura *laser*, o que representa um custo inicial bastante alto para o projeto. Adicionalmente, uma estratégia de navegação dinâmica não representa solução de alta confiabilidade em certas situações como desníveis no piso, depressões e obstáculos de baixa altura. Uma desvantagem determinante do uso de sistemas de varredura *laser* é a de que, para este projeto, é estratégico contar com uma alternativa de navegação simples e robusta como a de trilhas fixas, pois é possível resolver por este meio os desafios mais complexos de navegação que se apresentam em um ambiente complexo e variado, como o que se aborda neste trabalho. A navegação principal adotada neste projeto já é de natureza dinâmica quanto às rotas.

2.7 As opções adotadas

A opção pelo uso de trilhas passivas nas passagens estreitas (portas e outras) partiu da premissa de que o ambiente deve ser estruturado de forma simples, mas confiável, com pouca intervenção física e custo baixo. Os aspectos de confiabilidade e precisão, com alta imunidade a interferências de fatores externos, tais como luz, cores, ruídos e possibilidades de desgaste da sinalização ao longo do tempo, foram fatores preponderantes para a escolha deste método.

A opção baseou-se ainda nos exemplos de estado da arte em sistemas de navegação de veículos auto-guiados (AGVs), como os utilizados em armazéns e fábricas, onde a adoção de trilhas sinalizadoras fixas confere alta confiabilidade e previsibilidade de comportamento à solução. A possibilidade de modelar trajetos em situações, que seriam muito complexas para outras abordagens de navegação, confere um diferencial favorável, por meio desta solução, por oferecer ao projeto uma alternativa de navegação garantida sempre que as dificuldades impostas pelo ambiente se revelarem particularmente difíceis de transpor.

O alumínio foi eleito como material preferencial para a construção das trilhas, devido à sua grande disponibilidade a baixo custo e facilidade de manejo, aliado à excelente condutividade elétrica necessária ao propósito. Por não sofrer transformações de fases na sua estrutura cristalina, apresenta um comportamento eletromagnético uniforme e previsível.

Essas considerações, quase todas bem rigorosas, levaram à adoção dos seguintes elementos e à construção dos sensores, feitos especialmente para preenchê-las.

- Trilha passiva simples e robusta instalada no ambiente. Constituídas por tiras de alumínio sujeitas à indução eletromagnética do sensor, essas tiras, por receber indução de campos eletromagnéticos alternados, podem ser instaladas na superfície do piso, por meio de adesivos, e até sob tapetes, pisos sintéticos, cerâmicas ou granitos.
- Sensor emissor de frequência eletromagnética constituído por um par de antenas na forma de bobinas semelhantes e axialmente alinhadas, cumprindo o papel simultâneo de indutores e sensores para o elemento passivo no piso.
- Circuito decodificador no sensor, capaz de acionar periodicamente os pulsos de frequência nos indutores e avaliar o conseqüente estado de equilíbrio diferencial das ondas de ressonância nas duas bobinas do par. Ocorrendo a indução na trilha, haverá um desequilíbrio diferencial de fase e tensão, detectáveis pelo circuito por meio de comparadores (ou alternativamente, integradores).
- Estabilidade (repetibilidade), sensibilidade e seletividade (Bastos-Filho, 1999): A abordagem de sensor de valores diferenciais confere por si só um grau elevado de estabilidade e sensibilidade, pela imunidade a variações nos parâmetros do circuito e do ambiente externo. Acrescente-se a isto a pouca interferência de elementos do ambiente, como vergalhões presentes nas lajes de concreto, conseguida pela seguinte estratégia: a indução nas faixas de alumínio, que apresentam área extensa e é um meio condutor muito pouco resistivo, imprime características reativas na onda eletromagnética indutora, influenciando fortemente a sua fase. Peças de ferro, como vergalhões, expõem pouca área (pouca indução) e a característica resistiva do material é maior, o que resulta em pouca distorção de fase na onda indutora (maior componente resistiva). O resultado é um bom grau de imunidade ao sistema sensor versus elemento sensível, ajustado para capturar especialmente as diferenças de fase no seu conjunto de bobinas diferenciais.

3. A solução no contexto do projeto da cadeira de rodas

3.1 Diagrama funcional do projeto e relacionamento entre seus módulos

O diagrama da Fig. 3.1 apresenta, em uma visão geral, os módulos objeto deste trabalho, em negrito, e sua interação com o sistema completo da cadeira de rodas robótica. O ícone humano representa o usuário com limitações físicas, que conta com um quadro pictográfico, onde suas possíveis alternativas de interação são visualmente representadas em uma tela LCD, com ícones abrangendo as suas opções de mobilidade e comunicação (Fig. 3.9). Utiliza como meio de entrada no sistema alguns princípios baseados em sinais elétricos vitais (Ferreira, 2007).

O sistema executa a resolução da trajetória e a navegação até o destino selecionado pelo usuário, que, utilizando comunicação por sinais biológicos, escolhe um dos ícones de possíveis destinos apresentados na tela de um PDA, como mostrado na Fig. 3.9. Este processo é realizado por meio dos algoritmos e métodos de posicionamento espacial desenvolvidos especialmente para o projeto (Celeste, 2007).

O módulo de navegação geral descrito transfere o controle ao recurso de navegação por trilhas, objeto deste trabalho, e que aqui se encontra descrito em detalhes nos capítulos subseqüentes. Tanto o sistema de navegação geral quanto o baseado em trilhas, recorrem, por meio de comunicação de mensagens, ao sistema de aquisição e controle dos dispositivos (Filgueira, 2007), formado por uma unidade gerenciada por um microcontrolador MSP-430 e uma placa de interfaces elétricas, responsáveis pela aquisição de dados dos sensores e acionamento dos motores.

Os sensores de etiquetas de identificação por radiofrequência, ou leitores RFID (*Radio Frequency Identification*), proporcionam a localização e identificação de pontos previamente sinalizados do ambiente pela aplicação de etiquetas (*tags*) RFID passivas nas passagens servidas pelas trilhas. Essas etiquetas podem identificar também, ao longo das trilhas, outros pontos do ambiente, independentemente da sua função de navegação. O sistema de navegação por trilhas aproveita o evento de leitura do sensor RFID para perceber o final de um dado trecho. As etiquetas RFID identificam pontos com grande precisão posicional ao longo das trilhas, o que permite ao projeto os seguintes usos adicionais:

- O usuário da cadeira de rodas, por vezes, possui limitada ou nenhuma habilidade visual. Convém, portanto, emitir informação auditiva da identificação do recinto no qual se está entrando. A mudança de um ambiente para outro em geral está associada à passagem por portas, sendo oportuno, nesse momento, identificar o recinto para o qual se está indo, a partir de sinalização RFID instalada no ambiente. O sistema desenvolvido permite a emissão de um retorno audível para o usuário.
- Em trilhas longas, por trechos em corredores, por exemplo, podem-se implantar diversas etiquetas ao longo do percurso, permitindo realizar uma navegação auto-guiada, endereçada a um desses pontos de destino em particular.
- No momento em que a cadeira de rodas robótica, navegando sobre uma trilha, detecta uma etiqueta RFID, a localização da cadeira de rodas fica automaticamente associada à própria localização física da etiqueta RFID, com considerável precisão de poucos centímetros. Desta forma, é possível orientar os sistemas de navegação da cadeira de rodas robótica,

tanto para uso em navegação dinâmica, quanto para constituir redundância e validação para os sistemas de localização embarcados.

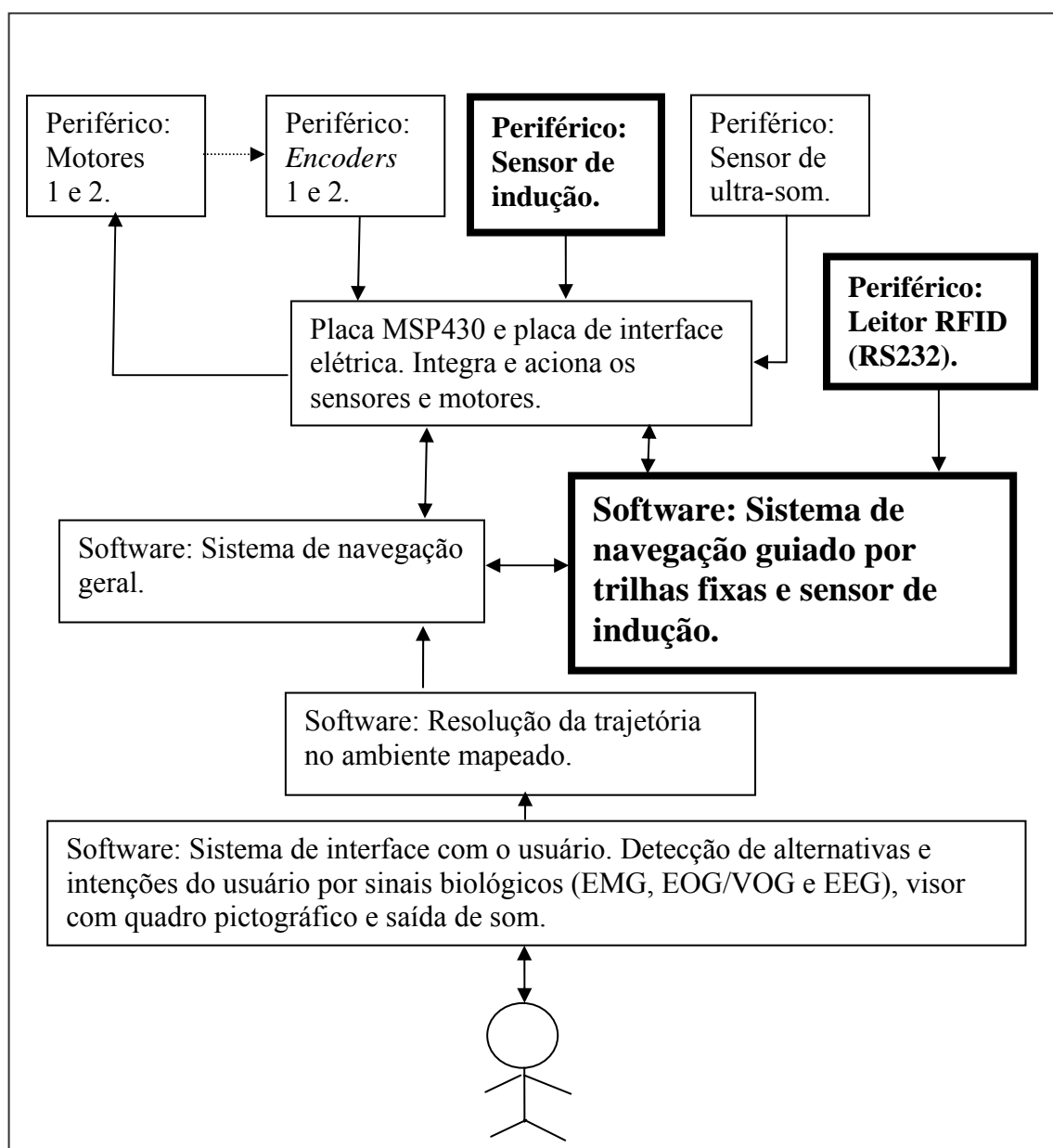


Fig. 3.1 - Descrição geral dos módulos do projeto.

3.2 Descrição do funcionamento da cadeira de rodas com as trilhas passivas

Nas passagens onde há medidas mais críticas, como portas, a orientação do movimento é baseada em uma trilha formada por tiras de alumínio instaladas no chão do percurso. Um sensor instalado na cadeira percebe a presença da trilha, permitindo ao sistema de controle embarcado conduzir o veículo pelo trajeto até a transposição do trecho.

O princípio de funcionamento do sensor, especialmente projetado para atender aos requisitos do projeto, é baseado na indução eletromagnética, onde as guias feitas de placas de alumínio no piso sofrem indução pelas bobinas do sensor instaladas na cadeira. O projeto inclui também a aplicação de componentes de tecnologia RFID conforme citado na descrição funcional precedente. A Fig. 3.2 representa em vermelho os sensores de indução, ao centro, e sensor RFID, ao lado. Os elementos detectáveis por ambos estão representados na cor verde, com as etiquetas RFID nas laterais A e B de uma porta, e uma faixa de alumínio (superfície condutora) ao centro, no piso.

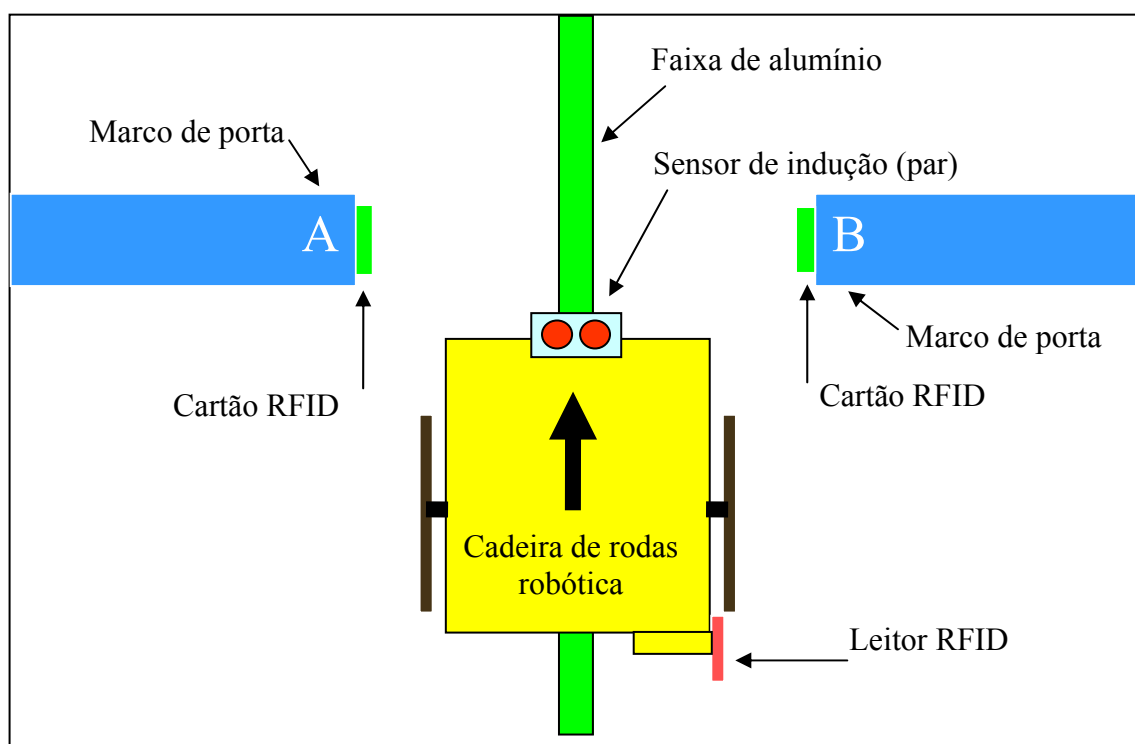


Fig. 3.2 - Esquema geral da solução (vista superior).

3.3 Alternativas de configuração das trilhas.

Embora o propósito primário deste trabalho seja a navegação por portas e passagens estreitas, os dispositivos implantados no projeto, para este fim, suportam algumas alternativas adicionais de recursos de navegação, permitindo até mesmo a configuração de uma completa malha de rotas, com laços e bifurcações. É oportuno, contudo, salientar que não receberam foco, por fugirem ao escopo do trabalho, alguns aspectos relacionados à navegação autoguiada a este nível, tais como tráfego simultâneo de múltiplos veículos em um mesmo ambiente, otimização de trajetos e outros problemas relacionados. Guardadas, portanto, as considerações precedentes, os pontos a seguir detalham as principais possibilidades que o sistema desenvolvido suporta, além das características fundamentais já bastante mencionadas, como seguir trilhas metálicas e identificar etiquetas RFID ao longo destas trilhas.

- Transição entre navegação autônoma e navegação auto-guiada: Este é um dos recursos básicos e essenciais ao propósito do trabalho. Em uma situação onde a cadeira de rodas robótica está sendo controlada por navegação dinâmica, sem o uso de trilhas, há a necessidade de, ao se aproximar de uma passagem estreita, rastrear o início da trilha, para então iniciar a navegação auto-guiada. Conforme a ilustração da Fig. 6.5 o algoritmo de aproximação desenvolvido no trabalho conduz a cadeira de rodas robótica através de um trajeto retilíneo, sem trilha, até que a mesma seja identificada, quando então, o controle da navegação auto-guiada aciona o algoritmo de navegação sobre a trilha. A extremidade inicial da trilha na figura possui o formato de um “Y”, mas pode ser configurada com outros formatos, dependendo da geometria da área de transição. Uma possibilidade adicional é acrescentar mais linhas radiais além das duas mostradas, com três ou mais linhas radiais convergindo para o início da trilha. O comprimento das tiras radiais determina o nível de precisão exigido da navegação autônoma na região de abordagem.
- Bifurcação: Caso a técnica de navegação auto-guiada seja usada para configurar rotas mais sofisticadas, podem ser utilizados pontos de bifurcação nessas rotas, bastando que se ajuste o algoritmo original de seguir trilhas, para que siga o limiar esquerdo ou direito da faixa de alumínio, o que pode facilmente ser conseguido devido à existência de um par de sensores de indução, dispostos lado a lado. Em geral os dois sensores de indução são controlados para que permaneçam simultaneamente sobre a faixa. Em um pequeno espaço que antecede a entrada de uma bifurcação, um cartão RFID deve ser usado para identificar este local, permitindo aos recursos de alto nível do controle da navegação pelo ambiente (não abordados neste trabalho), definir a alternativa, entre esquerda ou direita, a partir da escolha que o usuário realizou com auxílio do PDA, sendo este, por sua vez, comandado por sinais biológicos, conforme mencionado no início deste capítulo.
- Laço de retorno: Em uma extremidade de uma trilha, caso seja desejável fazer com que a cadeira de rodas retorne no sentido inverso pela mesma trilha, basta que tal extremidade possua uma espécie de “pêra”, similar à “pêra ferroviária”, que é usada nos trens com a mesma finalidade; a dimensão desta “pêra” pode ser de algumas dezenas de centímetros. Também se pode construir uma trilha no ambiente formando um trajeto longo do tipo “circular”.

3.4 Placa de controle de periféricos - ponte H e controlador PI

A placa de controle de periféricos (Filgueira, 2007), integrante do projeto e através da qual os componentes deste trabalho se interligam, reúne funções que vão desde o casamento de níveis elétricos dos sinais digitais, como por exemplo, níveis lógicos TTL de 5 V com portas digitais de 3,2 V (microcontrolador). Outra função da placa é conter os *drivers* de corrente e controladores dos motores, na forma de uma ponte H. Os sinais de controle que alimentam essa ponte são opticamente isolados dos componentes de potência.

Acoplada à placa de controle existe uma outra placa dedicada a um microcontrolador de significativo poder de processamento, o MSP430 da Texas Instruments. Esse microcontrolador possui ainda diversos subsistemas internos, como interfaces seriais e geradores de sinais PWM, ambos aproveitados na solução do projeto.

Serão detalhados aqui, os métodos adotados nessas placas para o controle dos motores, por ser de particular importância para o entendimento, posteriormente neste trabalho, dos algoritmos de controle do movimento da cadeira de rodas.

Ponte H - Controle de potência e sentido de rotação dos motores.

Cada motor possui a sua corrente de alimentação controlada por uma ponte H, que é um circuito como o representado na Fig. 3.3. Nessa ponte, os transistores, normalmente do tipo MOSFET, atuam como chaves, por meio das quais os motores são ligados em um sentido de giro, ao se fecharem S1 e S4, e no sentido oposto, ao se fecharem S2 e S3. Paralelamente, se as chaves forem controladas por um sinal pulsante e com a sua largura de pulso modulada (PWM), a potência do motor poderá ser, também, controlada, o que, em todos os casos, pode ser realizado a partir de um microcontrolador, pelo acionamento da ponte H através de acopladores ópticos.

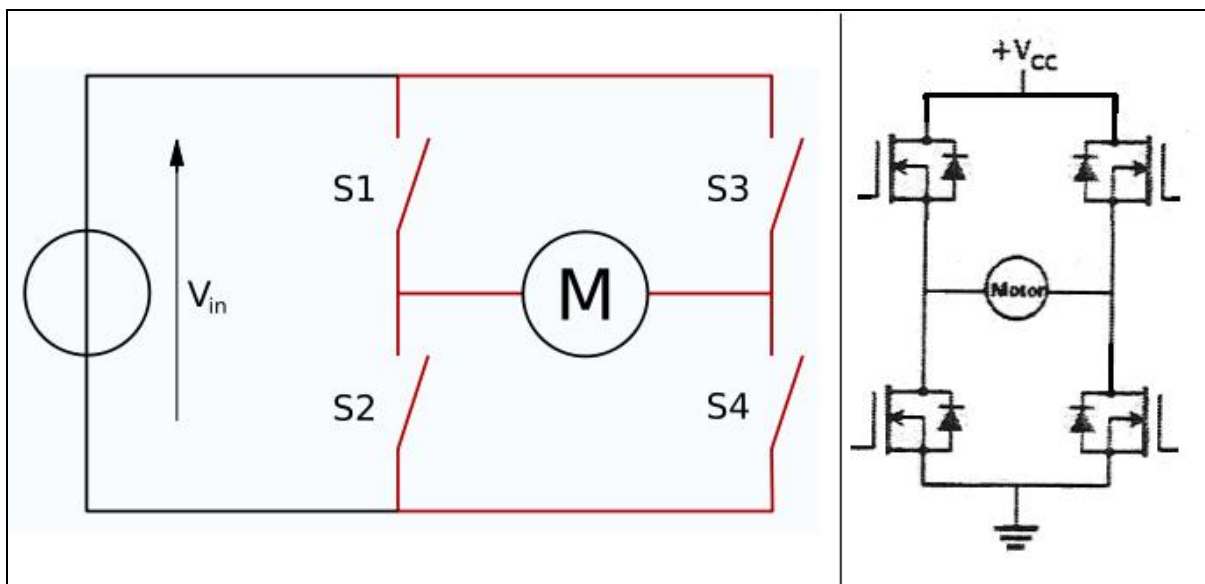


Fig. 3.3 - Ponte H que controla os motores da cadeira de rodas.
(Filgueira, 2007)

Controladores PI.

Os controladores PI podem ser usados em situações de naturezas diversas envolvendo controle, sendo que aqui estará em foco a sua aplicação voltada à mobilidade de robôs.

Em um veículo robótico com duas rodas motrizes, como é o caso da cadeira de rodas robótica, há a necessidade de se garantir uma relação conhecida do movimento realizado pelas rodas, de tal forma que, se o sistema de controle comanda uma trajetória retilínea, as duas rodas deverão corresponder, de forma sincronizada, executando exatamente o mesmo número de voltas com elevada precisão, ou seja, admitindo apenas erros inferiores a pequenas frações de uma volta ou até mesmo frações de um grau. Igualmente, para o veículo descrever uma curva,

é preciso que as rodas se movimentem a velocidades diferentes, em uma proporção definida pelo sistema de controle e efetivamente realizada com exatidão no movimento final das rodas. Os controladores PI são os responsáveis por garantir esta disciplina, reduzindo a maior parte dos erros de percurso a causas tais como desacoplamentos entre o piso e as rodas, ou a possíveis diferenças entre seus diâmetros.

Funcionamento dos controladores PI:

Os controladores PI usados na função descrita, são sistemas realimentados por codificadores ópticos (*encoders*), que emitem pulsos sincronizados ao movimento do elemento a eles acoplado mecanicamente. Um *encoder* aplicado à cada roda de uma cadeira de rodas robótica, por exemplo, pode emitir, normalmente, algo em torno de 3600 pulsos por volta, ou 10 pulsos por grau de movimento realizado. A Fig. 3.4 mostra um diagrama de blocos de um controlador PI, onde estão representados os seus dois tipos de controle, a saber:

- Controle proporcional

No laço de controle proporcional, individual a cada motor (Fig. 3.4), um único sinal externo indica a velocidade desejada para os dois motores. Este sinal, somado à realimentação negativa de velocidade vinda do *encoder*, define a potência aplicada ao motor, regulando consequentemente, a velocidade final. Assim sendo, uma velocidade na saída, que esteja acima do valor previsto na entrada, retornará à entrada atenuando a potência, resultando em redução da velocidade. Uma velocidade acima da esperada, na saída, causará da mesma forma o efeito regulador contrário. Pode-se afirmar, portanto, que a velocidade de saída de cada motor, tende ao valor do sinal de entrada multiplicado pela constante de proporcionalidade k_{-pro} .

Ao considerar os dois motores operando em regime estacionário, não é possível afirmar que os ganhos instantâneos e médios dos dois controladores proporcionais sejam idênticos entre si, não sendo possível contar, portanto, com um movimento perfeitamente “casado” dos dois motores. Entretanto, este “casamento” é necessário, por exemplo, para definir uma trajetória retilínea. Esta limitação pode ser compensada com o uso, em conjunto, de um controle integrativo.

- Controle integrativo

No laço único e diferencial entre os dois motores, que forma o controle integrativo, a diferença de velocidade entre as rodas é obtida subtraindo-se os sinais de velocidade de retorno dos *encoders*. Esta diferença é integrada, e sendo a integral da velocidade pelo tempo, uma distância, o integrador produzirá um valor análogo à diferença do percurso percorrido pelas rodas, ou seja, ao erro de deslocamento. Este valor, ou erro, é então aplicado aos sinais de entrada do controle proporcional dos motores, conforme as disposições da Fig. 3.4, somando-se em um lado e subtraindo-se no outro, de maneira a opor-se à diferença percebida (o erro). Isto faz com que o erro seja compensado, o que leva as duas rodas a tender a um sincronismo de movimentos. A constante k_{-int} , multiplicada à saída do integrador, representa o ganho deste laço, ou o nível de reação a um erro de movimentação diferencial entre os motores.

Para complementar a compreensão deste processo, vale lembrar que um integrador é um dispositivo com memória, o que é inerente à sua natureza. Isto significa que um erro fica registrado nesta memória até que seja desfeito pela acumulação de um valor igual, mas com sinal oposto. É então possível supor, por exemplo, que, havendo um desequilíbrio de ganho estacionário entre os controladores proporcionais, manter-se-á na saída do integrador, uma constante diferente de zero que o compensará.

Além de promover o sincronismo entre os motores, o controle integrativo é usado para controlar trajetórias curvas. Para tal, adiciona-se simplesmente um sinal externo à entrada do integrador, com sinal positivo ou negativo, que resultará em uma correspondente diferença de velocidade entre as rodas.

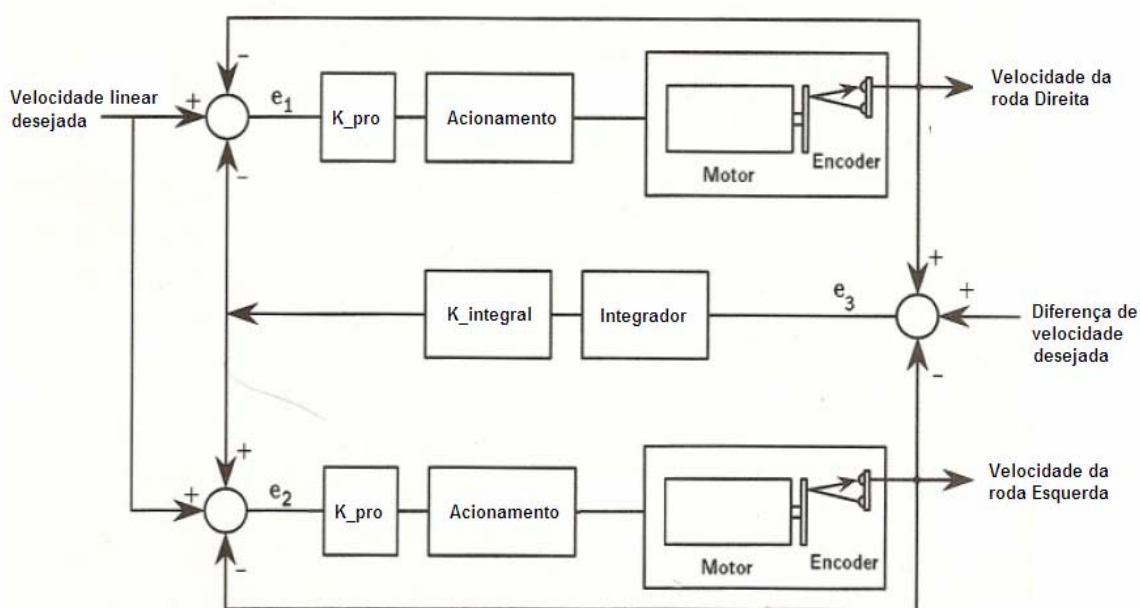


Fig. 3.4 - Diagrama de blocos de um controlador PI.

O controlador efetivamente usado na cadeira de rodas robótica:

Por serem laços de controle realimentados, os controladores PI podem oscilar em torno dos valores de velocidade desejados na saída, podendo mesmo tornar-se instáveis e apresentar fortes oscilações, o que ocorre, principalmente, quando se utilizam ganhos elevados. Assumindo-se que uma oscilação é um comportamento representável por uma onda senoidal, é possível criar-se uma oposição à mesma com uma realimentação negativa defasada em quadratura à oscilação na saída. Assim, a oscilação será sistematicamente atenuada, permitindo o uso de valores de ganho mais elevados. No controlador da Fig. 3.4 (Filgueira, 2007), uma oscilação no movimento angular da cadeira gera a mencionada realimentação em quadratura, devido ao integrador presente no laço integrativo. As oscilações na velocidade linear, entretanto, não influenciam o laço integrativo, ficando o controle de velocidade linear desprovido deste benefício. Isto resulta em uma possível velocidade linear oscilante quando se empregam ganhos mais altos (k_{pro}), levando a um desconforto para o usuário. A redução do ganho, por outro lado, reduz o nível de reação propiciado pela realimentação, aumentando os erros no deslocamento.

A solução para tal limitação pode ser superada, equipando-se também o laço proporcional de controle de cada motor com um componente integrativo. Este componente irá então desempenhar o papel de atenuar as oscilações da saída, por gerar, para cada roda em separado, um sinal em quadratura negativo em relação à fase desta oscilação. A Fig. 3.6 mostra este sinal de retorno (teórico), após o integrador. Ressalta-se finalmente que as oscilações nos movimentos angulares da cadeira de rodas também receberão o benefício deste “atenuador de oscilações”, pela ação de compensação localizada e independente em cada roda. O diagrama da Fig. 3.5 representa o controlador PI que foi efetivamente empregado no projeto, mostrando os elementos integradores adicionais.

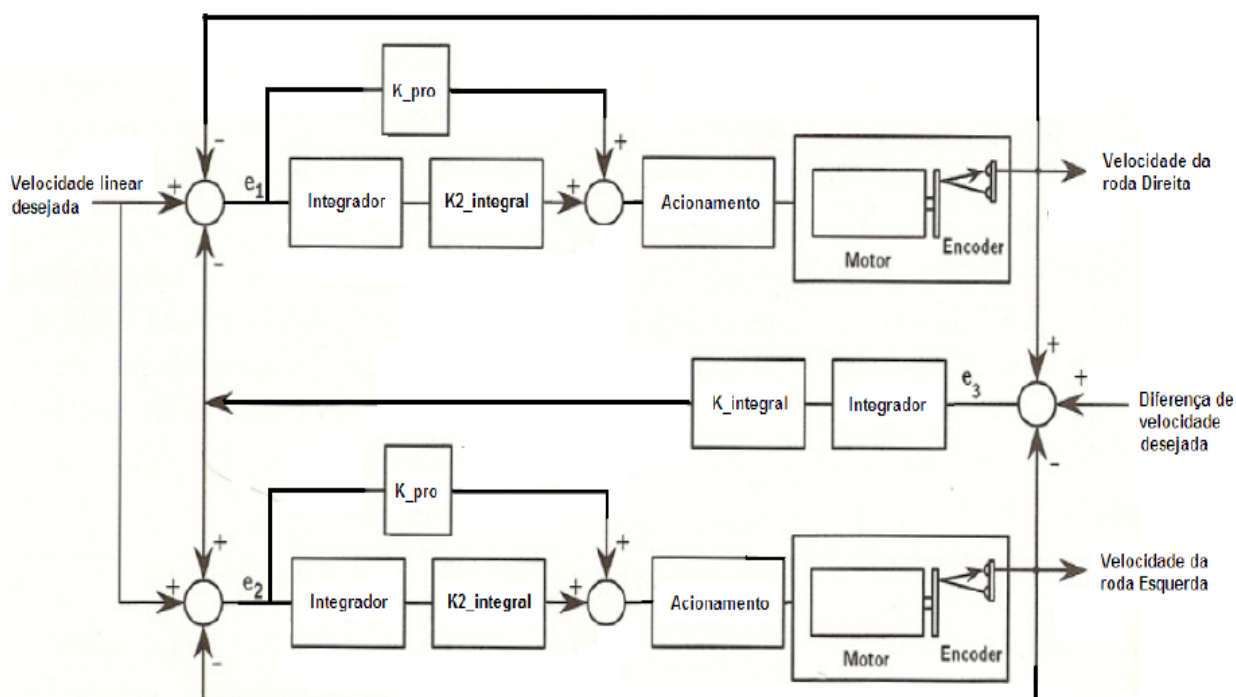


Fig. 3.5 – Diagrama de blocos do controlador PI utilizado no projeto.
(Filgueira, 2007)

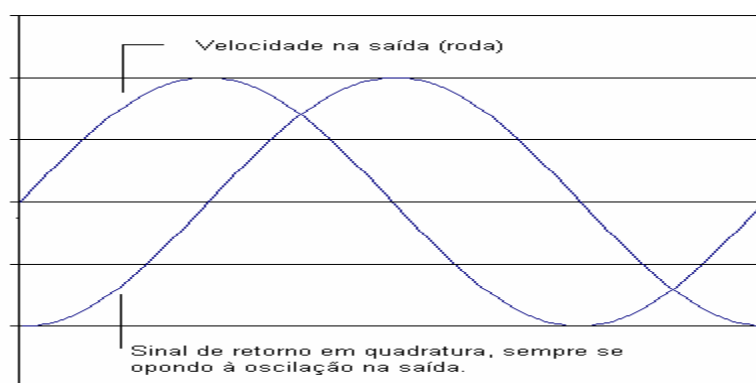


Fig. 3.6 - Gráfico teórico do sinal de retorno com elemento integrativo.

3.5 A Interface com o usuário e o equipamento PDA

A comunicação disponível no projeto da cadeira de rodas robótica com o usuário é construída com base em uma interface gráfica de um equipamento PDA, comandada por algumas alternativas de sinais biológicos, mencionados no capítulo 1 deste trabalho. O presente capítulo detalha alguns aspectos selecionados do trabalho completo sobre a interface com o usuário (Silva, 2007), dada a sua importância, uma vez que, em princípio, todas as ações da cadeira de rodas robótica partem das intenções manifestas pelo usuário a partir desta interface.

A escolha do modelo de PDA:

A quase totalidade do mercado de handhelds é dividida entre os que são embarcados com o sistema Palm OS, da Palm, e os equipados com o *Windows Mobile*, da Microsoft. Os dois tipos de equipamento são conhecidos no mercado pelas denominações genéricas de “*palm*” e “*pocket*” respectivamente.

As características dos handhelds embarcados com *Windows Mobile* que os tornam mais atrativos em relação aos *palms* incluem:

- processadores mais rápidos;
- sistema operacional multitarefa;
- maior quantidade de fabricantes e modelos;
- reconhecimento da escrita de forma mais natural;
- grande performance em atividades multimídia;
- maior compatibilidade de navegadores para a Internet;
- aumento do interesse do mercado na produção de novos softwares / hardwares;
- ótima integração com pacote Microsoft Office.

Em relação aos destaques dos *handhelds* embarcados com Palm OS sobre os *pockets*, merecem ênfase:

- bateria de longa duração, pois o sistema é carregado na memória ROM;
- geralmente mais leve, fino e compacto;
- interface mais fácil e intuitiva;
- sistema mais rápido e estável;
- preços mais atrativos;
- maior disponibilidade de *softwares*.

Dentre os vários modelos e os canais de compra disponíveis, o melhor custo-benefício foi alcançado através de um modelo da DELL – o Axim X50, embarcado com *Windows Mobile*, equipado com um display de 3,5 polegadas, 65K de cores e resolução de 320 X 240 *pixels*. Optou-se pelo *pocket* principalmente devido à flexibilidade que este oferece à arquitetura do software e ao projeto. O SO permite a criação de *software* multitarefa e integração facilitada com outros programas carregados em sistemas operacionais da Microsoft. Embora a bateria tenha duração inferior a um dia de uso, isso não é crítico ao projeto, uma vez que sua alimentação será provida pelas baterias da cadeira de rodas, e seu consumo é muito pequeno se comparado ao dos motores. A Fig. 3.7 apresenta o PDA descrito.



Fig. 3.7 - Axim X50 da DELL.

3.6 O programa de interface com o usuário

O *software* desenvolvido para constituir-se no módulo de apresentação do projeto foi denominado CCRR (Controle e Comunicação da Cadeira de Rodas Robótica). Este *software* foi projetado em C, tendo sido utilizado o paradigma de orientação a eventos. Nesse método, as ações do usuário – os eventos externos – determinam o fluxo do programa, e definem qual rotina será chamada. Não há um curso principal determinado pelo próprio programa como no caso da programação “procedural” ou imperativa. Alguns exemplos de eventos são: toque na tela do PDA, chegada de sinal na porta serial, estouro de temporizador e atualização da interface gráfica.

O CCRR é um aplicativo dotado de uma interface bem simples, de maneira que, qualquer usuário, principalmente o público-alvo a que se destina a cadeira, seja capaz de manuseá-lo. Cada opção selecionada é informada ao usuário graficamente e através de uma saída de voz. A simplicidade é, de fato, necessária para que não haja frustração por parte do usuário em depender de auxílio externo. Botões pequenos e monocromáticos, barras de rolagens ou telas cheias de informações requerem um bom controle muscular e alguma experiência para manuseá-lo, e a idéia é exatamente a oposta. Deseja-se que qualquer pessoa, tanto usuário como membros familiares que não estejam nada familiarizados com o desenvolvimento do sistema, seja capaz de manipulá-lo. Esta simplicidade é igualmente estendida à navegação entre as telas. A estrutura de navegação está representada na Fig. 3.8.

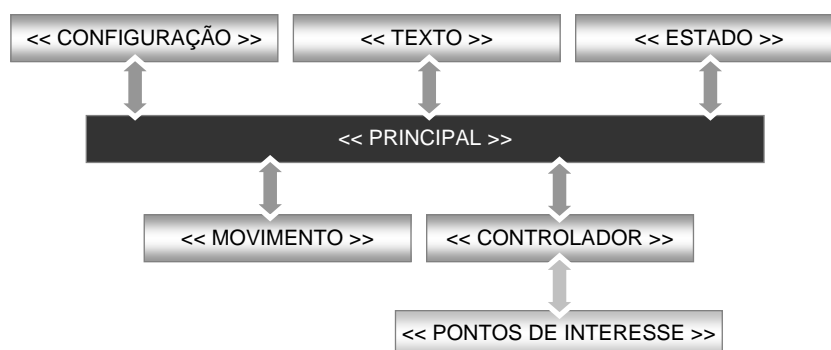


Fig. 3.8 - Navegação entre as telas do CCRR.

Através da tela “CONFIGURAÇÃO” é possível ao usuário selecionar o tipo de sinal biológico que será interpretado pelo computador embarcado na cadeira. Cada modo de interação do usuário com o sistema, por meio de telas como as da Fig. 1.1, é explicado nos tópicos a seguir:

- “Touch Screen”: é o padrão inicial do sistema, onde a escolha dentre as opções disponíveis no display é realizada através de um toque sobre ela. Esse modo deve ser utilizado por pacientes que sofrem de neuropatias motoras em estágios iniciais da patologia, uma vez que requer um bom controle da região cervical.
- “EOG/VOG”: interpreta sinais provenientes do movimento dos olhos, captados tanto por eletrodos como por webcam. Esse modo deve ser utilizado no caso em que o usuário não possua bom controle muscular da região cervical e da piscada dos olhos. O sistema capta o deslocamento angular e o sentido do movimento dos olhos e envia estas informações ao PDA, que por sua vez controla um cursor baseado nessas informações. A utilização do EOG e VOG está sendo desenvolvida em outra dissertação de mestrado.
- “EMG”: o sistema é controlado por sinais musculares, em especial piscadas de olhos. Piscada com o olho esquerdo move um cursor para baixo e, após a última opção, o cursor recomeça no item superior da tela; piscada com o olho direito move tal cursor para a direita e, após última opção, cursor recomeça no lado esquerdo; piscadas alternadas selecionam a atual posição do cursor.
- “EMG (Varredura)”: como no modo anterior, o sistema também é controlado por piscada de olhos. A diferença é que, neste modo, o usuário utiliza a piscada de apenas um dos olhos (o que lhe for mais conveniente) e é auxiliado por um sistema de varredura automática, que funciona da seguinte maneira: a primeira linha é selecionada graficamente por uma barra vermelha, ao mesmo tempo em que uma barra de progresso preenche dez pequenos quadrados (canto inferior direito do display). Ao final da contagem, caso o sistema não detecte a chegada de nenhum sinal muscular, a barra de progresso reinicia a contagem e a próxima linha é selecionada. A varredura das linhas prossegue até que uma piscada eleja a linha que contém a opção desejada pelo usuário. A barra de progresso aguarda um possível cancelamento do usuário e, caso não haja, o display marca um retângulo cinza sobre a linha e passa a percorrer cada opção da linha selecionada, através de um retângulo verde, até que a opção seja finalmente selecionada.
- “EEG (Varredura)”: há poucas diferenças deste modo para o “EMG (Varredura)”. Basicamente, o PDA passa a ser controlado por meio de sinais EEG e não por sinais musculares. Além disso, a varredura é mais lenta que no caso anterior, uma vez que a identificação de sinais cerebrais é a mais lenta dentre todos os sinais biológicos utilizados neste projeto. O modo “EEG (Varredura)” deve ser utilizado nos estágios mais avançados da neuropatia motora.

A interface desenvolvida no PDA possui diversas alternativas de comandos, tanto para controlar os movimentos da cadeira de rodas, quanto para apoiar a comunicação do usuário com outras pessoas (Fig. 1.1). Destacaremos, para exemplo, a função de “CONTROLADOR”, que permite ao usuário deslocar-se entre cômodos de ambientes estruturados, como sua própria residência. Uma situação é exemplificada na Fig. 3.9: O usuário elege um dos

cômodos, a cozinha, por exemplo, e este destino, assim definido, é comunicado a um sistema de navegação, que conduzirá a cadeira de rodas até o ponto de destino selecionado.



Fig. 3.9 - Tela "CONTROLADOR" do programa CCRR.

3.7 O protocolo de comunicação entre o PDA e o processador de bordo

O protocolo foi criado para organizar e padronizar a troca de mensagens bidirecional entre o PDA e o computador de bordo, o que ocorre através de comunicação serial, RS-232. Cada vez que há necessidade de comunicação, um deles envia uma mensagem de dados de quatro caracteres, conforme detalhados adiante. Caso a mensagem seja válida e recebida corretamente pelo segundo dispositivo, este retorna quatro caracteres de confirmação, que são “@@@@”.

As mensagens de dados: O primeiro caractere de envio em uma mensagem de dado é um “@”, sinalizando início da mensagem. Quando o envio de dados é realizado pelo computador de bordo, o segundo caractere indica o tipo de sinal biológico recebido pelo sistema – “O” para EOG/VOG, “M” para EMG e “E” para EEG – ou que a cadeira de rodas passou por um ponto específico do ambiente, situação esta sinalizada pelo caractere “S”. Nesse último caso, o terceiro caractere indica em qual ambiente a cadeira se encontra – “A” sala, “B” banheiro, “C” cozinha, “D” quarto, “E” área de serviço, “F” varanda, “G” corredor, “H” entrada – e o quarto mostra o ponto específico do ambiente. Desta forma, se o PDA recebe, por exemplo, os caracteres “@SA3”, ele retorna “@@@@” ao computador de bordo, indicando sucesso no recebimento, e emite através de sua saída sonora a frase pré-gravada “Sala, ponto 3”. Assim, o usuário da cadeira, ou membros que convivem com ele, sabem por onde está passando a cadeira de rodas.

Ainda tomando como destino o PDA, se o segundo caractere recebido for um “M”, indicando detecção de piscada de olho do usuário, o terceiro caractere indicará qual o olho foi o responsável pelo EMG: “E” para olho esquerdo e “D” para olho direito. O quarto caractere é preenchido com um valor qualquer, como “@”.

Outra condição ocorre quando o segundo caractere é um “O”, indicando presença de EOG ou VOG. Sendo assim, o terceiro e o quarto caracteres indicam o deslocamento angular horizontal e vertical, respectivamente. Um valor igual a zero indica que não houve

deslocamento, valores negativos indicam deslocamento do globo ocular para a esquerda ou para baixo e valores positivos descrevem deslocamentos para a direita ou para cima.

A última situação ocorre quando há presença de sinal EEG, sinalizado pelo caractere “E”. No trabalho em referência (Silva, 2007), buscou-se apenas identificar a intenção de seleção do usuário por meio de sinais cerebrais e, portanto, os outros dois caracteres são preenchidos por “@”. A Tabela 3.1 ilustra as possíveis mensagens quando o PDA é o destino dos dados.

Tabela 3.1 – Mensagens de envio de dados do computador de bordo ao PDA.

Sinal	1º character	2º character	3º character	4º character
EMG	@	M	D	@
			E	
			A	
EOG/VOG	@	O	(deslocamento angular horizontal)	(deslocamento angular vertical)
EEG	@	E	@	@
(emitir sinal sonoro)	@	S	A (sala)	Ponto de interesse: A, B, C, D, E, F.
			B (banheiro)	
			C (cozinha)	
			D (quarto)	
			E (área de serviço)	
			F (varanda)	
			G (corredor)	
			H (entrada)	

Quando o sentido dos dados é do PDA para o computador de bordo, o primeiro caractere permanece sendo o “@”. O segundo caractere sinaliza ao computador a seleção de uma opção de movimento (caractere “E”) ou de um ponto de interesse do ambiente (caractere “F”). Na primeira situação, o terceiro caractere indica qual o movimento selecionado: “A” esquerda 90°, “B” frente, “C” direita 90°, “D” girar à esquerda, “E” atrás (um passo), “F” girar à direita, e o último caractere é preenchido por “@”. Na segunda situação, os outros dois caracteres indicarão o cômodo e o ponto específico desse cômodo. A Tabela 3.2 detalha as mensagens possíveis no caso de envio de dados pelo PDA ao computador de bordo.

Tabela 3.2 - Protocolo de envio de dados do PDA para o computador de bordo.

Ação	1º caracter	2º character	3º caracter	4º caracter
Movimento	@	E	A (esquerda 90°)	@
			B (frente)	
			C (direita 90°)	
			D (girar esquerda)	
			E (trás)	
			F (girar direita)	
Controlador	@	F	A (sala)	Ponto de interesse: A, B, C, D, E, F.
			B (banheiro)	
			C (cozinha)	
			D (quarto)	
			E (área de serviço)	
			F (varanda)	
			G (corredor)	
			H (entrada)	

3.8 O processador de bordo – Mini-ITX

A cadeira de rodas robótica possui um computador embarcado, padrão PC, que no projeto é executado com o sistema operacional Windows. Este computador é um equipamento especializado, com reduzidas dimensões (17cm X 17cm), de baixo consumo, conhecido comercialmente como “Mini-ITX”. É produzido pela empresa VIA, fabricante de placas-mãe, *chipsets* e o próprio processador utilizado, que é caracterizado pelas dimensões reduzidas e baixo consumo, dispensando ventiladores, o que resulta na significativa vantagem adicional da redução de falhas.

O fabricante é representado no Brasil pela empresa CórteX, que disponibiliza informações completas sobre o produto em www.cortex.com.br.

4. Desenvolvimento do sensor de indução

4.1 Descrição geral

Um sensor de indução é um dispositivo destinado a detectar, por meio de campo eletromagnético alternado, a presença de placas condutoras, como alumínio, cobre ou outros materiais que exponham uma superfície não paralela às linhas de campo do sensor (Fig. 4.1).

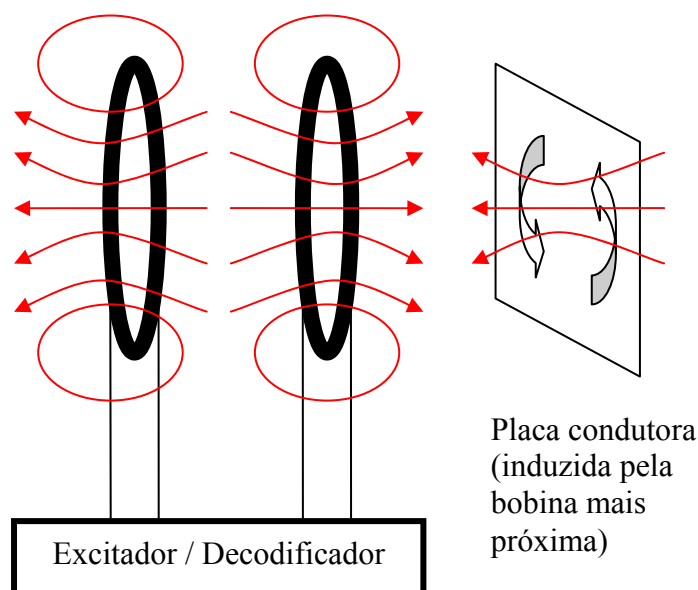


Fig. 4.1 - Esquema eletromagnético do sensor de indução.

4.2 Funcionamento

O sensor de indução é composto por dois circuitos LC casados, feitos com duas bobinas similares e axialmente alinhadas em um núcleo de ar, e são separadas por uma distância expressiva, como a medida do seu diâmetro, garantindo um acoplamento magnético intencionalmente fraco entre elas. Ambos os circuitos LC são excitados simultaneamente e postos em oscilação livre a cada amostragem. Ambas, tensão alternada e frequência da oscilação livre, são calibradas para assumirem valores muito próximos, coincidentes, entre os dois circuitos LC. Quando em um dos lados do conjunto é aproximada uma placa condutora, esta sofre indução (correntes de Foucault) do campo da bobina deste lado, e uma indução muito menor da bobina mais afastada. Esta indução influencia o elemento indutor com componentes de potência resistiva do induzido, resultando em perda de amplitude, e por componentes reativos, resultando em distorção de fase. O decodificador detecta, por meio de comparadores, em um momento particular do período de oscilação, a conseqüente diferença de tensão relativa, identificando assim a presença da placa condutora.

A Fig. 4.2 ilustra o sensor de indução sem a presença de uma placa em suas proximidades. Os gráficos em cor verde e magenta representam as tensões nas duas bobinas e se confundem pela coincidência de valores.

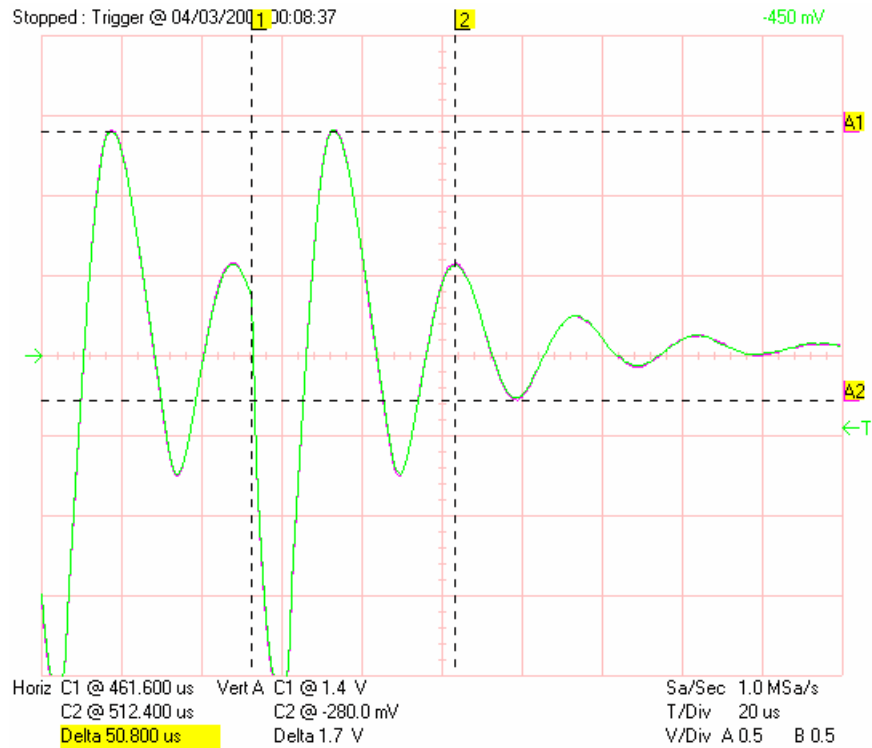


Fig. 4.2 - Ondas dos dois circuitos LC sobrepostas com mesma frequência e tensão.

A Fig. 4.3 mostra o que acontece ao aproximar uma placa condutora pelo lado da bobina responsável pelo sinal do gráfico de cor verde.

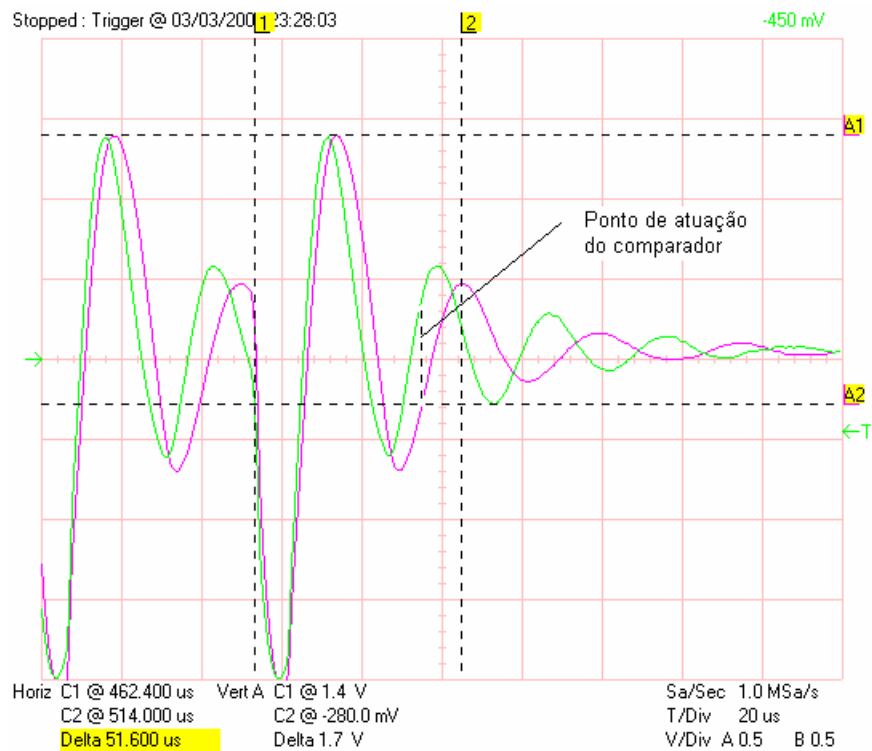


Fig. 4.3 - Ondas dos dois circuitos LC influenciados pela placa condutora.

4.3 Sensibilidade e imunidade a ruídos

Um sensor de indução que opera por princípio eletromagnético pode apresentar fortes influências externas indesejáveis, como campos magnéticos e ondas eletromagnéticas de origens diversas, além de outros fatores tais como variações de parâmetros físicos do próprio sensor e do circuito. O projeto deste sensor adota algumas estratégias para obter um alto grau de estabilidade e imunidade a ruídos, mesmo sob regulagens destinadas a alta sensibilidade. Serão destacadas a seguir as abordagens empregadas.

1) Detecção diferencial

Nenhuma referência ou valor absoluto é considerado para a detecção. Um sensor consta de dois sistemas ressonantes LC casados, postos a oscilar ao mesmo tempo, o que proporciona um alto grau de imunidade a uma grande variedade de flutuações no ambiente do circuito, desde tensão de alimentação, permeabilidade magnética, ruídos elétricos, etc.

A Fig. 4.1 apresenta os campos magnéticos das duas bobinas com suas polaridades magnéticas opostas entre si. O sensor pode operar e foi intensivamente testado com as bobinas nesta configuração e também com as polaridades não opostas. Na opção da Fig. 4.1 prioriza-se a sensibilidade em detrimento à imunidade a ruídos eletromagnéticos externos. O sensor fica mais sensível, pois a variação em uma bobina provoca efeito eletromagnético inverso na outra, ampliando o efeito diferencial e aumentando a sua sensibilidade. Por outro lado, uma possível indução eletromagnética externa incidiria opostamente nas duas bobinas, podendo provocar uma falsa detecção. A configuração de campos não opostos, sob a influência de um ruído eletromagnético de fonte distante o bastante para que seja possível supor, por aproximação, que o seu campo cruza ambas as bobinas com intensidade similar, resultará em indução similar em ambas, com diferença praticamente nula nas tensões induzidas e a conseqüente eliminação do ruído pelo mesmo fator diferencial da detecção desta tensão.

É importante considerar que os ruídos eletromagnéticos mais próximos ao sensor são mais previsíveis e mais fáceis de evitar, por estarem dentro das dimensões físicas do próprio sistema no qual é aplicado o sensor. No caso da aplicação do sensor de indução à cadeira de rodas, existem fortes fontes de ruídos eletromagnéticos, como os cabos de força dos motores, alimentados com corrente chaveada. Constatou-se que de fato, ao aproximar estes cabos a uma distância de 5 cm do sensor, inviabilizou-se o seu funcionamento. Em contrapartida, a 20 cm de distância, a imunidade percebida foi muito alta, embora o ruído em questão seja de potência suficiente para atingir com facilidade bem além de 20 cm.

2) Leitura com múltiplas amostragens

Uma boa parte das fontes de ruídos elétricos e magnéticos é de natureza transitória. O ciclo de detecção do sensor foi projetado para lidar com estes transientes por meio de um processo de leituras múltiplas e descarte. O ciclo de detecção realiza quatro excitações seguidas, onde as três últimas são consideradas para leituras válidas. A mudança do valor final repassado somente ocorrerá se as três leituras forem iguais, conseguindo-se desta forma grande imunidade a ruídos, sem grande prejuízo da sensibilidade. A estabilidade também é aperfeiçoada pelo emprego desta técnica digital. Como são realizados mais de mil ciclos completos de detecção por segundo, mesmo com uma taxa de descarte considerável não ocorrem atrasos significativos na detecção.

4.4 Circuito Excitador / Decodificador - Descrição do ciclo de funcionamento

O circuito, alimentado a 5 V, é formado por um excitador controlado por um microcontrolador, que provoca um pulso periódico aterrando momentaneamente um dos lados do circuito LC, enquanto que o outro permanece em uma tensão de alimentação alta, de aproximadamente 4 V. Ao final do pulso, o circuito excitador entra em corte, permanecendo em alta impedância e permitindo assim que o LC oscile livremente por alguns ciclos até a sua atenuação completa.

Após o fim do pulso de excitação, o microcontrolador aguarda um tempo até atingir um ponto particular do período da onda oscilante dos LC (ver detalhe na Fig. 4.3). Ao atingir este tempo, o *firmware* recolhe uma amostra da saída de um comparador interno ligado às tensões das duas bobinas do sensor.

Este ciclo de excitação e medida é realizado em três amostras seguidas, onde é processado um algoritmo com efeito próximo a uma histerese. A detecção final de saída se tornará “sim” apenas se a sequência de três amostras seguidas for “sim”. Tornar-se-á “não” apenas se forem obtidos três “não” seguidos. Qualquer situação intermediária fará o estado de saída permanecer o mesmo.

Finalmente, antes dos três pulsos de excitação e comparação, foi acrescentado um pulso de excitação onde não será aproveitada a comparação. Serve apenas para determinar um regime eletromagnético idêntico no circuito LC no momento da excitação dos três ciclos de amostragem válidos.

A Fig. 4.4 mostra a onda resultante do ciclo completo de detecção com os quatro pulsos de excitação. Entre as linhas pontilhadas está a região útil do ciclo. É importante observar que a tensão de pico da primeira senoidal é ligeiramente diferente das outras três.

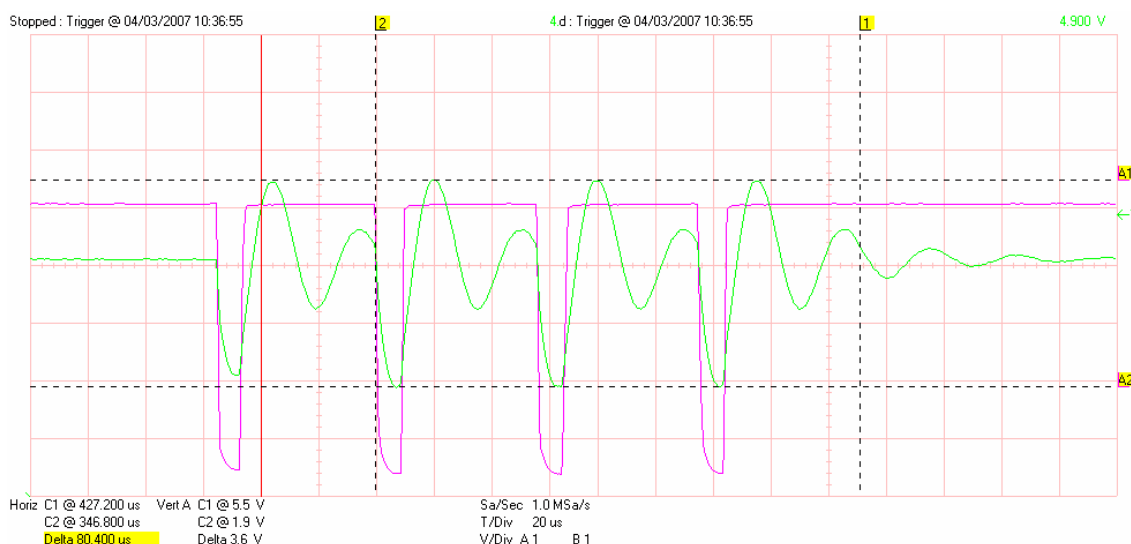


Fig. 4.4 - Ciclo completo de detecção.

4.5 Detalhamento do funcionamento do circuito

A Fig. 4.5 apresenta o diagrama de blocos funcionais do circuito do sensor de indução. Os dois elementos ressonantes LC recebem um pulso simultâneo do circuito de excitação que funciona pelo princípio de coletor aberto, formado por um diodo e uma malha resistiva de calibração do nível de excitação. A periodicidade e duração da excitação são comandadas pelo controle digital, sendo que ao final de sua atuação o circuito de excitação retorna ao estado de alta impedância (corte). Após a excitação, já no regime de oscilação livre, o controle digital aciona o comparador no momento definido para a captura.

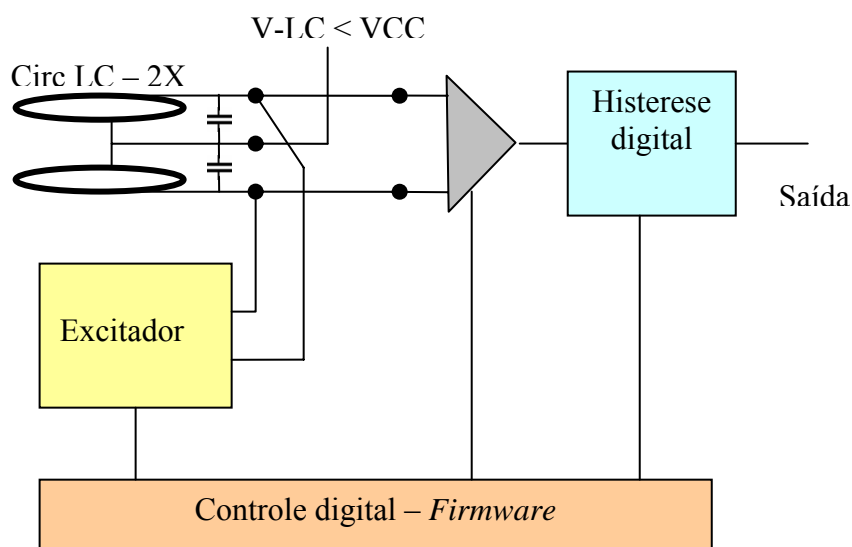


Fig. 4.5 - Diagrama de blocos do excitador / decodificador.

A Fig. 4.6 apresenta o diagrama esquemático do circuito desenvolvido, no qual estão construídos dois sensores de indução completos comandados por um único PIC16F628. Cada sensor apresenta um par de osciladores LC conforme descrito no diagrama de blocos. Um deles será denominado “Sensor 1”, excitado pela porta digital RB5 e avaliado pelo comparador C2 do microcontrolador, com vias de entradas AN1 e AN2. A saída final é fornecida pela porta RB2. O “Sensor 2”, análogo, utiliza a porta RB4 e comparador C1 (entradas AN0 e AN3), com saída final em RB3. A modalidade configurada de operação dos comparadores é CM2..CM0 = 100 (conforme manual do PIC16F628).

Os dois sensores são acionados alternadamente, um ciclo completo de um, depois o outro, evitando interferências eletromagnéticas entre eles. Assim, o *firmware* expede quatro pulsos de excitação em RB5, o primeiro apenas para estabelecer regime eletromagnético no circuito do Sensor 1 que se encontrava em repouso. Serão feitas três observações da saída do comparador C2 que resultarão em uma amostra a ser disposta na saída da porta digital RB2 (que corresponde ao Sensor 1). Ao final deste ciclo o Sensor 1 entra em repouso e realiza-se processo análogo para o Sensor 2, mas desta vez a excitação será via RB4 e o resultado digital final será em RB3. O processo então se repete indefinidamente, atualizando aproximadamente duas mil vezes por segundo o estado de cada sensor.

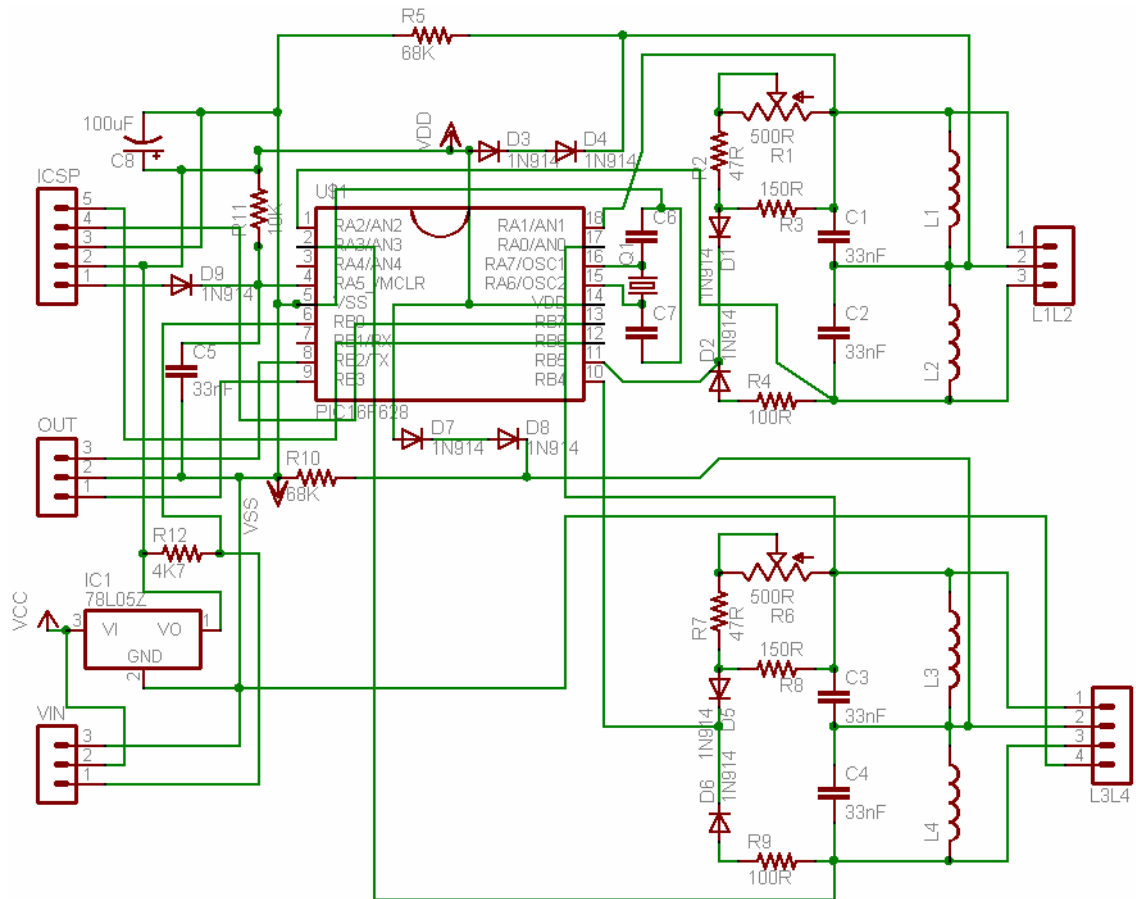


Fig. 4.6 - Diagrama esquemático do circuito dos sensores de indução.

4.6 Placa de circuito impresso e sua calibração

A placa de circuito impresso dupla face representada na Fig. 4.7 evidencia o microcontrolador (encapsulamento 18 pinos), os capacitores dos osciladores LC, sendo C1 e C2 pertencentes ao Sensor 1, C3 e C4 são os seus equivalentes para o Sensor 2. Os resistores variáveis R1 e R6 que pertencem aos circuitos dos excitadores permitem controlar o nível relativo do sinal das duas ondas produzidas pelos dois circuitos LC de cada sensor. A primeira instância de calibração é o ajuste da constante LC pela agregação de capacitores adicionais em paralelo a C1 e C3. Este ajuste deve ser feito com osciloscópio. A segunda calibração realiza-se ajustando o nível de excitação relativa dos osciladores de cada sensor, ajustando os valores de R1 e R6 respectivamente. A calibração final se faz mecanicamente movimentando-se uma pequena placa de alumínio que é instalada fisicamente nos núcleos das bobinas dos osciladores.

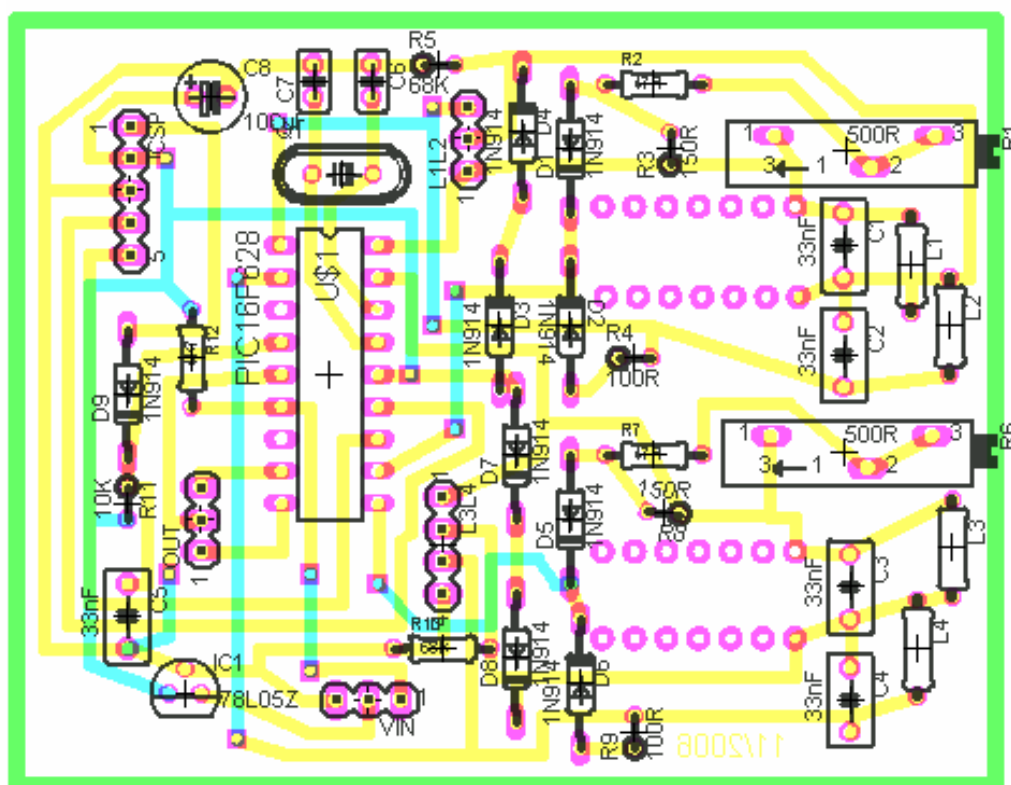


Fig. 4.7 - Placa de circuito impresso do sensor de indução.

4.7 Estados de funcionamento do circuito

O circuito proporciona três regimes de funcionamento destinados a colocar o circuito e o *firmware* na condição operacional mais adequada, seja para operação normal, seja para calibração. O Anexo II mostra os detalhes do programa desenvolvido para controle e medida dos sensores de indução.

A porta de entrada, RB0, acessível pelo pino 1 do soquete VIN, conforme mostrado na Fig. 4.7, é ligada a um resistor *pull-up*. Ao ser ligado o circuito, esta porta é consultada para determinar o regime de funcionamento, que pode ser:

- 1) Normal – RB0 é deixado desconectado – O circuito entra em regime de funcionamento normal, ativando o Sensor 1 e Sensor 2 alternadamente 2000 vezes por segundo aproximadamente. Não é adequado para calibração por produzir uma sequência descontínua de pulsos, inviabilizando o *trigger* do osciloscópio.
- 2) Modo de calibração do Sensor 1 – Se o RB0 for mantido aterrado, ao energizar o circuito o programa executa uma rotina de excitação ritmada das bobinas do Sensor 1 apenas, para fins de calibração de amplitude e período do ciclo de oscilação. A amplitude da excitação é controlada pelo *trimpot* R1 (Fig. 4.7). O período deve ser ajustado com capacitores em paralelo e um ajuste fino pode ser feito pela movimentação da placa condutora móvel interna ao sensor.
- 3) Modo de calibração do Sensor 2 – Se RB0 for mantido aterrado ao energizar o circuito e logo após a estabilização do estado 2 for desligado da terra, tornando-se alto, o programa executará uma rotina de calibração análoga à do estado 2, mas para o circuito do Sensor 2. Se aterrarmos novamente RB0 a rotina de calibração volta a atuar no Sensor 1.

4.8 Aspectos físicos do sensor e dispositivo de ajuste fino

O sensor de indução foi construído com antenas formadas por bobinas eletromagnéticas com um núcleo a ar de 40 mm de diâmetro. Esta dimensão foi selecionada pelo propósito de se instalar trilhas com largura em torno de 80 a 100 mm, o que as faz bem distintas, pelas suas dimensões, de possíveis objetos metálicos estranhos. A natureza diferencial do sensor levou a que se tomassem alguns cuidados na construção, como o de se produzir enrolamentos geometricamente semelhantes para que a indutância de cada bobina fosse a mais próxima possível da outra. A Fig. 4.8 apresenta detalhe do processo de enrolamento em um torno mecânico adaptado, como medida para garantir suficiente regularidade geométrica.



Fig. 4.8 - Construção dos elementos do sensor de indução.

Para um bom comportamento do processo de seguir trilhas empregaram-se dois sensores lado a lado, construídos e montados em uma mesma base. A Fig. 4.9 apresenta esta montagem, onde o conjunto de cor cinza comporta as bobinas (antenas), a haste branca permite a adaptação na cadeira de rodas, entre as rodas livres dianteiras, conforme pode ser observado na mesma figura, e a caixa azul contém o circuito.



Fig. 4.9 - Conjunto de antenas dos sensores 1 e 2 (cinza), haste e estojo do circuito.

Como mencionado anteriormente, a calibração final é realizada por uma pequena placa de alumínio excêntrica e móvel no interior do núcleo das bobinas que formam a antena de cada sensor. A Fig. 4.10 apresenta este elemento (disco azul) e seu eixo que pode ser girado livremente (retido por fricção) para calibrar o sensor. O posicionamento do disco a 180° em relação ao apresentado na Fig. 4.10, por exemplo, faz com que o mesmo passe a influenciar mais o campo da outra bobina do par diferencial, levando a regulação para medidas correspondentemente opostas.

Ao se proceder à calibração dos fatores elétricos do circuito (capacitor e resistor de excitação), deve-se colocar este disco com a sua área paralela às linhas de força do campo magnético, de maneira a minimizar a sua influência sobre o conjunto. Isto significa posicionar o cilindro de suporte (branco) na horizontal.

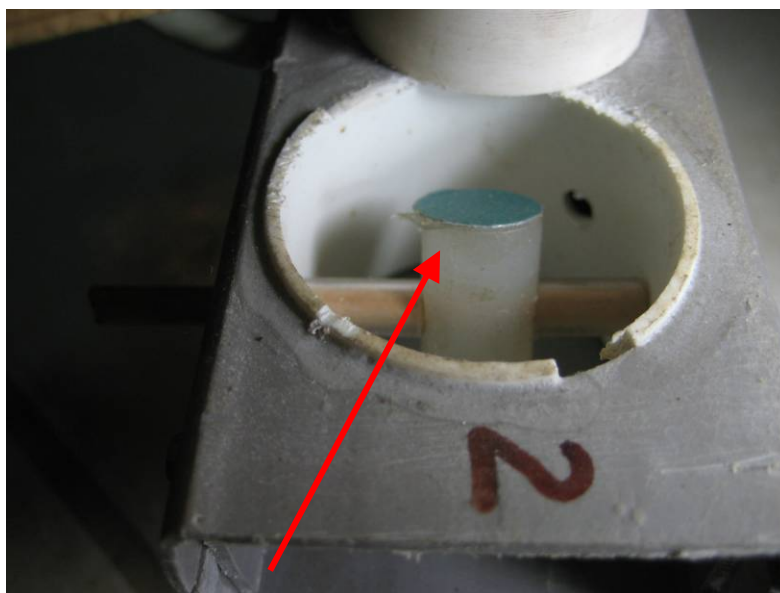


Fig. 4.10 - Detalhe do elemento de calibração (sensor 2).

4.9 Ajustes e testes de bancada do sensor de indução

Antes da montagem, todas as quatro bobinas tiveram a sua indutância aferida e corrigida individualmente. Para tal, usou-se um único capacitor de poliéster como referência e montou-se um circuito LC, que foi colocado a oscilar com uma bobina por vez. Um osciloscópio permitiu medir o comprimento de onda de cada um e realizar os ajustes na indutância.

Após a montagem completa do circuito, fez-se a calibração dos capacitores dos osciladores LC e dos resistores variáveis de controle do seu nível de excitação, ambos com apoio de um osciloscópio e do microcontrolador funcionando no modo de calibração, que consta de um ciclo simplificado de excitação. Ajustou-se finalmente o sensor para uma região próxima de acusar detecção, girando a placa de ajuste existente no núcleo do sensor. Os seguintes experimentos foram então realizados:

- Com o ajuste para uma sensibilidade a mais alta possível e após 30 aproximações da placa de alumínio, partindo de 20 cm de distância, concluiu-se que, a distância máxima de percepção da placa de alumínio pelo sensor, é em torno de 6,5 cm com um nível satisfatório de estabilidade. Tentativas de se regular o sensor para mais sensibilidade resultou em comportamento instável.
- Nesta condição de máxima sensibilidade (6,5cm), procurou-se testar a sensibilidade a objetos metálicos normalmente encontrados em residências, como garfos, facas, tesouras, alicates, chaves de fenda e pedaços de vergalhão. Em nenhum caso esses objetos conseguiram acionar o sensor em distâncias maiores que 2,5 cm (um alicate grande) e, em média, esses objetos só eram percebidos pelo sensor a 1 cm de distância ou menos.
- O ajuste do sensor para sensibilidade um pouco menor, com capacidade de captura a uma distância máxima entre sensor e placa de alumínio de 5 cm, demonstrou grande estabilidade, regularidade de funcionamento, inclusive mantendo-se o ajuste após longos períodos de tempo após realizada a calibração (vários dias). A partir desta verificação pôde-se definir que o sensor poderia operar a uma altura média do solo em torno de 3 cm, permitindo assim uma margem de tolerância de até mais dois centímetros de altura do sensor à trilha. Esses 3 cm constituem-se em uma boa altura do solo.
- Testes de captura através de tapetes, placas de cerâmica, mármore e granito. Esses materiais, conforme esperado, não interferiram no funcionamento do sensor de forma perceptível, demonstrando a viabilidade de se instalar as trilhas de alumínio sob o acabamento do piso.

5. Identificação de pontos e locais importantes com sensores RFID

5.1 Objetivos específicos, requisitos e considerações de projeto

A lista de requisitos a seguir destaca os pontos necessários ao atendimento das características do projeto, pelos sensores RFID:

- Fornecer ao sistema de navegação uma identificação de referência para cada setor do ambiente, servindo também para informação de retorno ao usuário (visual e auditiva).
- Fornecer confirmação positiva da real posição do veículo, com um bom grau de precisão, auxiliando o sistema de navegação e garantindo a sua confiabilidade.
- Utilização como delimitador de percurso sobre as trilhas passivas.
- Leitura em pontos-chave, tais como passagens estreitas e portas.
- Leitura com distâncias até 30 cm. Compromisso entre mobilidade e precisão.
- Facilidade de adaptação do ambiente, o que enfatiza as características de não dependência de fontes de energia ou de sinal, dispensando qualquer tipo de conexão e ainda a própria facilidade de instalação, que deve ser feita de forma simples e com pouco esforço, sem exigir modificações estruturais ou nos acabamentos dos recintos adaptados.
- Possibilidade de ser aplicado tanto no piso quanto em paredes e laterais de vãos de passagem.
- Custo baixo, especialmente dos elementos aplicáveis ao ambiente, reduzindo o custo de adaptação dos mesmos, facilitando assim estender a mobilidade do sistema a áreas mais amplas.
- Estabilidade e precisão de detecção, uma vez que os erros são pouco toleráveis, tendo em vista que a função pretendida e os possíveis contornos e contingências, via de regra, exigem intervenção humana.
- Mínimo impacto para os usuários, em especial com as adaptações aplicadas ao ambiente quanto à aparência e funcionalidade, onde se espera pouca interferência dos dispositivos empregados.
- Durabilidade.

5.2 O que é RFID

A sigla RFID resume a expressão “*Radio Frequency Identification*”, que se trata de uma solução para os problemas que envolvem a identificação automática de uma infinidade de objetos, animais, vegetais ou pessoas, conferindo-lhes uma característica de unicidade em relação ao conjunto de elementos conhecidos em um dado contexto. Esta unicidade é obtida por meio da leitura de códigos não repetidos (únicos) contidos em dispositivos eletrônicos implantados fisicamente, em uma relação um para um, nos elementos sobre os quais há o interesse de identificação.

Estes dispositivos são capazes de emitir sinais digitais codificados em ondas de rádio, sendo conhecidos como *tags* (etiquetas). Os dispositivos capazes de reconhecê-los são os leitores, havendo a ressalva de que “leitores” poderão inclusive gravar dados nas etiquetas, se estas o permitirem. No Brasil é comum o uso de termos como *tag* e “cartão *contactless*” denominando respectivamente os dispositivos de identificação nas suas formas de etiquetas e cartões eletrônicos RFID.

5.3 Características dos sistemas de identificação por meio de etiquetas RFID

Várias características dos dispositivos RFID são únicas, determinando a sua aplicabilidade em situações bastante diversas onde outras tecnologias de identificação seriam ineficazes ou pouco confiáveis. Segue uma lista das suas características mais diferenciadoras:

- Uma etiqueta de identificação RFID não precisa estar visível para ser lida ou escrita. Pode estar encoberta por substâncias diversas, ou mesmo embutida no corpo do elemento a identificar. Pode ser encapsulada em grande variedade materiais para obter qualquer nível de resistência mecânica e/ou química.
- Rapidez de leitura e/ou escrita. Etiquetas podem ser lidas ou escritas com muita rapidez. Mesmo elementos em movimento podem ser identificados rapidamente sem a necessidade de parar para que se realize o processo de identificação.
- Isolamento entre a etiqueta e o dispositivo de leitura. Uma etiqueta RFID, por operar com rádio-frequência, é lida ou escrita sem que se faça contato físico algum com o dispositivo leitor. A distância possível vai desde alguns centímetros, com etiquetas sem fonte de energia própria, até um pouco mais de um metro, o que é possível especialmente quando possuem fonte de alimentação.
- Leitura simultânea de múltiplos elementos. Diversas etiquetas, estando ao mesmo tempo sob a influência de um único campo eletromagnético, poderão responder ao leitor coordenadamente, com auxílio de um protocolo apropriado, o que permite fazer a identificação de diversos elementos simultaneamente (do ponto de vista operacional) em uma mesma leitura.
- Programabilidade. Etiquetas podem ser de apenas leitura, ou seja, simplesmente emitem o seu identificador único para o leitor, mas podem também, dependendo do modelo, ser gravadas, podendo ganhar novos códigos para a sua reutilização em outros elementos ou ainda manter dados de estado ao longo da vida do elemento que identifica. Por exemplo, o resultado de um teste, ou um valor de calibração do objeto identificado poderá ser gravado em uma etiqueta. Informações vitais podem ser armazenadas tornando prescindível o acesso a uma base de dados, especialmente onde é exigida grande confiabilidade e rapidez na obtenção de determinadas informações.
- Unicidade. Mesmo que diversos exemplares idênticos de um objeto sejam identificados com etiquetas contendo o mesmo código de produto, cada etiqueta possui adicionalmente um identificador único, podendo, portanto, automatizar a recuperação de informações, tais como prazo de validade, lote de fabricação ou de compra, etc.

5.4 A Tecnologia da etiqueta RFID

Serão abordados os aspectos arquiteturais mais relevantes, com propósitos de proporcionar um entendimento de como funcionam as etiquetas, as leitoras, e como se comunicam. Será utilizada como referência a especificação EPC Classe 0, mas é fundamental que se esclareça que existem diversas outras abordagens tecnológicas, quanto à frequência, modulação, protocolo de leitura múltipla, etc.

As etiquetas passivas com alimentação via portadora

A Fig. 5.1 apresenta uma foto de uma etiqueta RFID passiva, aproximadamente em seu tamanho real. Pode-se ver a antena, na forma de um solenóide espiral e um chip no interior deste solenóide (Texas Instruments, 2000).

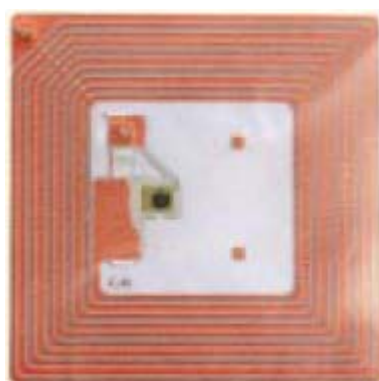


Fig. 5.1 - Elemento de uma etiqueta RFID – Antena e chip.

Modulação pela etiqueta passiva da onda portadora da leitora

A comunicação no sentido da etiqueta para a leitora é feita por meio da modulação da onda portadora emitida pela leitora. Isto é conseguido, por exemplo, pelo acoplamento eletromagnético existente entre as partes. Assim, um curto-circuito momentâneo na bobina da etiqueta provocará uma flutuação no campo magnético que poderá ser percebido e decodificado na unidade leitora. O mesmo fenômeno pode ser analisado como maior ou menor reflexão da antena da etiqueta (Fig. 5.1), conforme a sua malha é colocada em baixa ou alta impedância, respectivamente, sob controle do circuito modulador do chip.

Usando a técnica descrita acima, a etiqueta codifica os valores “0” e “1” através da modulação de 2 tons (sub-portadoras) bem distintos sobre a portadora.

Modulação da portadora pela leitora. Comunicação leitora - etiqueta

A leitora codifica o seu sinal por meio de dois níveis distintos de amplitude modulados diretamente na portadora. Os tempos de duração da emissão contínua em um mesmo nível serão fundamentais para que a etiqueta interprete os estados de controle do protocolo e os dados.

5.5 O protocolo de comunicação entre a leitora e as etiquetas

O protocolo de comunicação (MIT, 2003) praticado entre leitora e etiquetas deve ser capaz de sintonizar e controlar as etiquetas através de uma sequência de estados com objetivos diversos que, não exaustivamente, serão detalhados e ilustrados a seguir.

Estado de *reset*.

A leitora, inicialmente, emite um sinal contínuo de duração mais longa (800 μ s), o suficiente para energizar as etiquetas e, pela duração, definir o *reset*. Em qualquer momento do ciclo de operação a leitora pode emitir o *reset*.

Estado de calibração dos osciladores das etiquetas.

A unidade leitora possui osciladores convencionais a cristal, sendo, portanto, estáveis e precisos, o que não ocorre com as etiquetas, que não contam com oscilador a cristal. Para contornar esta carência, as etiquetas são capazes de reagir a um procedimento de ajuste, que ocorre sempre e imediatamente após o *reset*. A leitora comanda um processo de calibração dos osciladores das etiquetas enviando uma sequência de pulsos de referência, conforme ilustrados na Fig. 5.2.

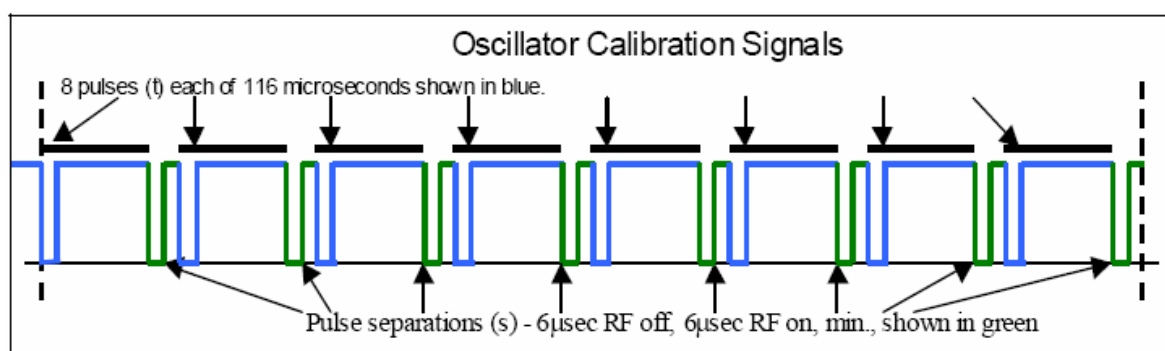


Fig. 5.2 - Processo de calibração do oscilador da etiqueta.
(MIT, 2003)

O oscilador da etiqueta tem sua frequência controlada por um registrador de 8 bits, permitindo variá-la por até 256 degraus ajustados para alcançar uma faixa de $\pm 50\%$ da sua frequência natural. O processo consiste de oito aproximações sucessivas comandadas pela leitora, onde as etiquetas se posicionam inicialmente no centro de suas respectivas faixas de calibração. Cada uma, por contagem no intervalo emitido pela leitora a cada bit, determina se deve reduzir ou aumentar a sua frequência, executando assim uma aproximação binária no sentido de se aproximar da frequência correta. Ao final, todas encontrarão os seus valores individuais de calibragem para seus registradores de controle de *clock*, próximos aos valores ideais.

Estado de estabelecimento dos padrões de representação dos dados.

O próximo passo, também vinculado incondicionalmente a todo *reset* e após a calibragem dos osciladores, será a emissão pela leitora dos padrões de tempo para interpretação dos dados zero, um e *null* que serão usados para transmitir os dados e controles para as etiquetas. O *null* especialmente será usado em diversas combinações de seqüências para forçar as etiquetas a estados de interesse da leitora.

Cada um dos três possíveis dados será codificado como um nível baixo da amplitude da portadora por um tempo peculiar a cada um, conforme a Fig. 5.3. Os tempos típicos são 3 μ s para representar o zero; 6 μ s para representar o um e 9,5 μ s para o *null*.

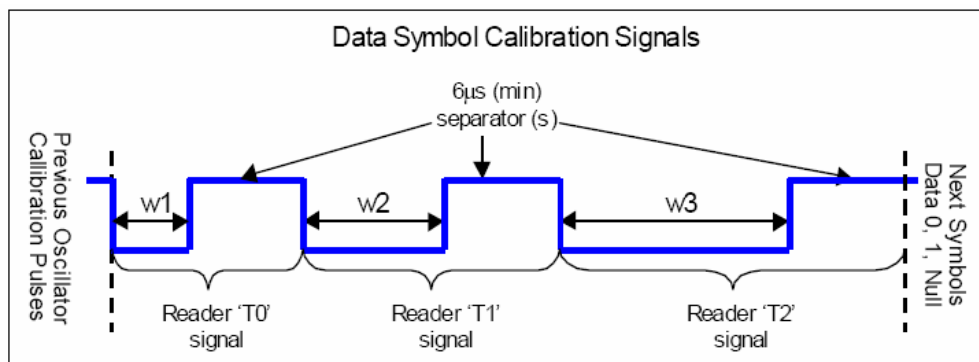


Fig. 5.3 - Processo de calibração dos sinais de dados – zero, um e *null*.
(MIT, 2003)

Estado de transmissão de comandos e dados para a etiqueta.

Este ciclo inicia imediatamente após a emissão dos padrões para zero, um e null. A leitora emite comandos que farão o controle do comportamento das etiquetas, pelos seus diversos estados subseqüentes, que a partir deste ponto são dependentes do controle da leitora sobre as etiquetas.

Será apresentado o princípio usado no processo de identificação das etiquetas, o que ocorre no estado chamado “*Tree Traversal State*”, no qual a leitora irá, bit a bit, identificando etiquetas pelos seus bits de identificação, em um processo de pesquisa binária conforme ilustrado na Fig. 5.4.

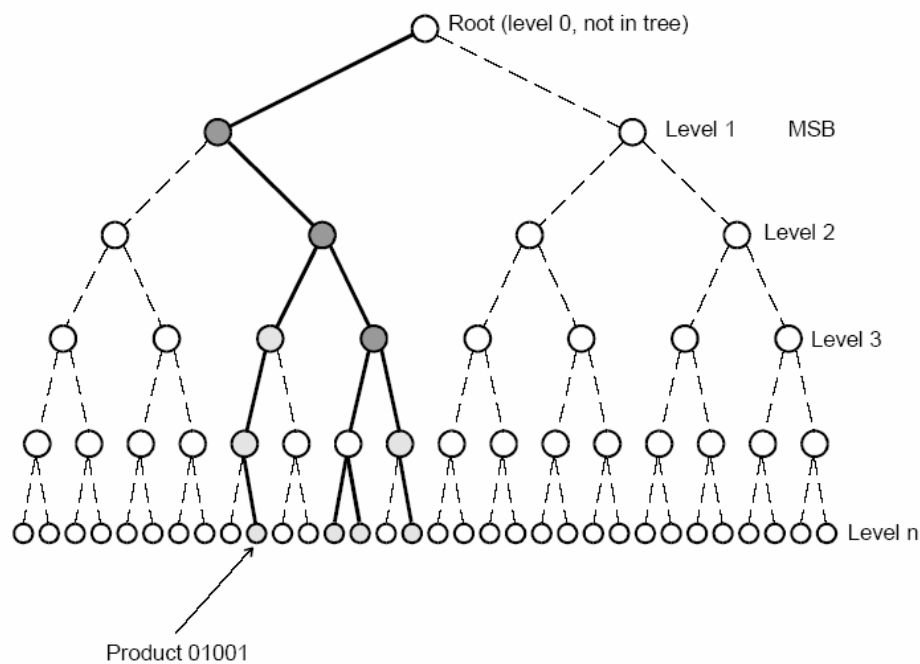


Fig. 5.4 - Identificação e leitura de múltiplas etiquetas simultaneamente.
(MIT, 2003)

Descritivo do Processo de Identificação:

- Uma transmissão de *null* seguida de zero inicia o estado (comando zero). Conforme esquema mostrado na Fig. 5.5.
- A leitora espera que as etiquetas, após a condição inicial, prossigam emitindo seu bit mais significativo.
- A leitora poderá receber nada, o tom de bit zero ou de bit um somente, ou ainda os tons de zero e um simultaneamente, quando interpretará ambos sem configurar colisão.
- A leitora irá confirmar apenas um de até dois tipos de bits recebidos, repetindo-o. Desta forma, se algumas etiquetas emitirem “1” e receberem a confirmação de “0” entrarão no estado de “Mudo”. Etiquetas que emitirem “0” e receberem a confirmação de “0” continuarão no processo transmitindo o seu próximo bit.
- A leitora divide o reconhecimento de bits em blocos de 10, com dois bits de paridade intercalados a cada quatro bits de dados, conforme mostrado na Fig. 5.5.
- Ao final dos bits estará isolada e lida a identificação de apenas uma etiqueta.
- A partir daí a etiqueta lida será colocada em modo de comando individual, para que sejam procedidas leituras de dados, gravações e outras operações previstas.

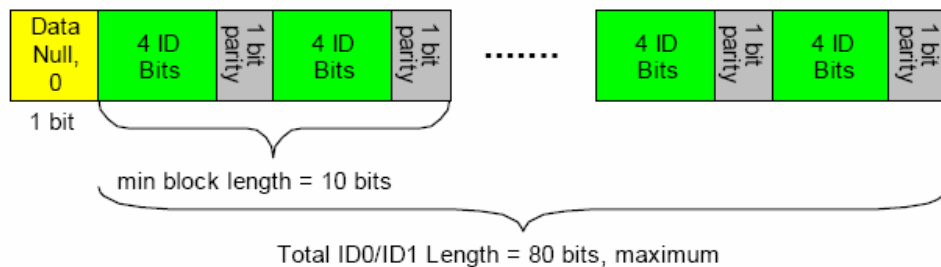


Fig. 5.5 – Esquema de transmissão dos bits de identificação.
(MIT, 2003)

5.6 Seleção de componentes RFID para aplicação neste trabalho

As seguintes alternativas de aplicação da tecnologia RFID foram analisadas:

- Utilização de chips de RFID e construção de módulos de leitura e antenas a partir de componentes eletrônicos de mercado, sendo alguns dedicados à tecnologia RFID.
- Módulos semi-prontos na forma de placas já montadas, e antenas customizadas com a integração, testes e encapsulamento destes componentes semi-acabados.
- Solução comercial para uso em identificação – Utilização de equipamentos sensores prontos para uso final, incluindo antena embutida no dispositivo sensor.

A alternativa adotada foi a solução comercial pronta para uso. Após análises das características dos produtos existentes, tanto leitores quanto etiquetas RFID, tendo sido avaliados fatores tais como custo e adaptabilidade aos fins do trabalho, evidenciou-se que os produtos disponíveis no mercado atendem perfeitamente às necessidades do projeto.

Disponibilidade comercial avaliada:

- Importação – Texas, Philips, HP etc.
- Indústria Nacional – Acura

Foi selecionado o produto “Leitor RFID AP-30”, representado na Fig. 5.6 (Acura, 2006), fabricado pelo fornecedor nacional Acura, que possui tecnologia própria desenvolvida por integração de componentes discretos e módulos semi-acabados.

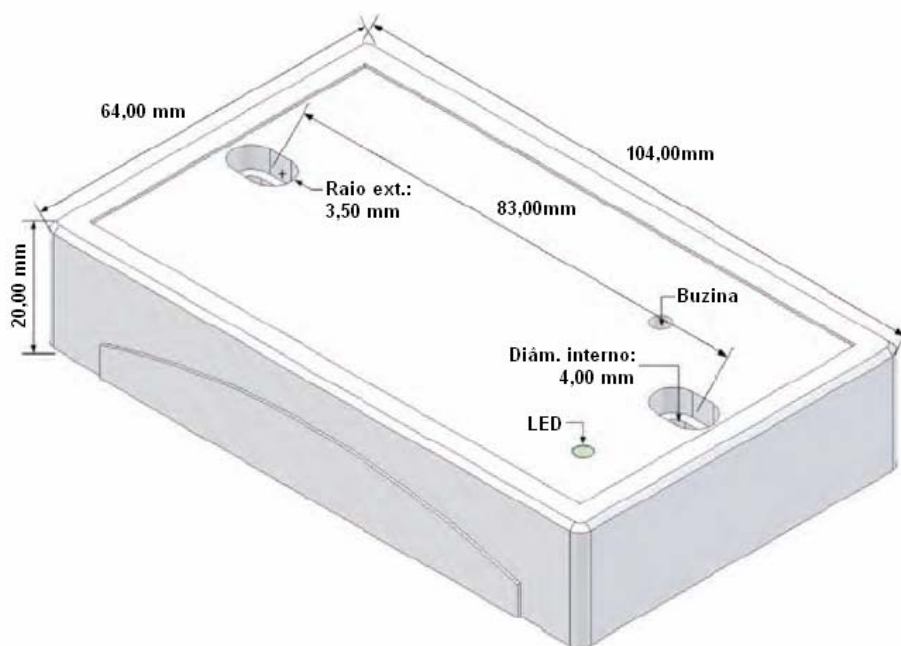


Fig. 5.6 - Módulo leitor Acura AP-30.

5.7 Aquisição, custos

Foram adquiridos uma unidade do leitor RFID “Acura AP30” e cartões “Acura AcuProx HP”. Este conjunto leitor e etiqueta oferece possibilidade de identificação a uma distância de até 30 cm, o que está na faixa de interesse do projeto. Tal sensor foi adquirido via representante local Harpia, a um custo aproximado do leitor (um por cadeira de rodas) de R\$400,00 e o custo aproximado de cada cartão (dois por ponto de passagem) de R\$5,00.

5.8 Testes realizados e resultados

Equipamentos usados nos testes:

Diversos testes foram realizados com dispositivos RFID comerciais, tendo sido tomados como base dois modelos, com alcances diferentes na distância máxima de leitura. Os dispositivos RFID testados foram:

- Testes pré aquisição:
 - Leitor Acura - AP-20 - 20 cm de distância.
 - Cartões AcuProx.
- Testes do produto adquirido:
 - Leitor Acura - AP-30 - 30 cm de distância
 - Cartões AcuProx HP.

Foram avaliados, nos testes realizados, os seguintes fatores de influência na sensibilidade dos produtos:

- Tensão de alimentação - Faixa nominal usada: 6 V a 13 V:
 - Verificou-se que houve uma variação em torno de 5 cm para menos na sensibilidade, quando alimentado em 6 V, em relação à alimentação com a tensão máxima.
 - Verificou-se também que houve uma imperceptível redução de sensibilidade quando reduziu-se a tensão de 13 V para 12 V.
- Avaliação da distância em operação com leitor livre de atenuantes de sinal:
 - AP20: Em torno de 19 cm com cartões AcuProx e 12 V.
 - AP30: Em torno de 32 cm com cartões AcuProx HP e 12 V.
- Avaliação da posição relativa cartão / leitora:
 - Pouca exigência de posição relativa e ângulo entre leitor e cartão.
 - Mantém a sensibilidade dentro de um ângulo de $\pm 60^\circ$ em torno do eixo da antena.

- Avaliação do efeito “Gaiola de Faraday”:
 - A existência de blindagens semelhantes a “Gaiolas de Faraday” destrói quase completamente a sensibilidade, especialmente quando se aproximam placas condutoras de área expressiva em relação à área da antena, perpendicularmente ao eixo da mesma.
- Avaliação de massas ferromagnéticas próximas:
 - Apresentou muito pouca influência na sensibilidade. Tubos, objetos como ferramentas e hastes semelhantes a vergalhões foram usados nos testes.
- Avaliação de velocidade / leitura em movimento:
 - Os testes apresentaram alto índice de leituras realizadas com cartões atravessando o campo a uma distância quase limite e a uma velocidade de pelo menos 3 m/s (aproximadamente 10 km/h) o que é bem superior às velocidades empregáveis na cadeira de rodas.

Conclusão dos testes:

Como conclusão dos testes realizados, verificou-se que o leitor RFID testado, em particular o modelo AP-30, possui as seguintes características, preenchendo os requisitos necessários ao projeto:

- Alta estabilidade.
- Sensibilidade adequada do leitor AP-30.
- Totalmente adequado ao propósito do projeto.

5.9 Interface de dados entre o leitor RFID e o sistema principal (PC)

Foi analisada e testada a interface de dados entre o leitor RFID e um PC. Os seguintes detalhes desta interface em seus aspectos construtivos e elétricos são apresentados a seguir.

- Fiação para configuração ASCII do dispositivo AP-30:
 - Vermelho +VCC
 - Preto Terra de dados
 - Verde TX Data
 - Amarelo Sem uso
 - Branco Sem uso
 - Laranja Sem uso

- Formato da *string* com o código de identificação do cartão – 14 caracteres onde cada “A” representa um valor hexa (de 0 a F) formando um valor binário único de 40 bits. Este valor vem impresso na face do cartão em hexadecimal e convertido para decimal.

[STX] A-A-A-A-A-A-A-A-A-A [CR][LF][ETX]

- A Fig. 5.7 apresenta os níveis elétricos, observados em osciloscópio, no fio de dados (8N1-9600bps) do leitor RFID. Neste gráfico, o valor de 5 V é lido como “zero” na interface RS-232 padrão. Na ausência de sinal, a interface interpreta como valor “um” que, neste caso, é codificado como 0 V. Este sinal pode, portanto, ser lido diretamente por uma porta convencional de PC, sem adequações de nível elétrico.

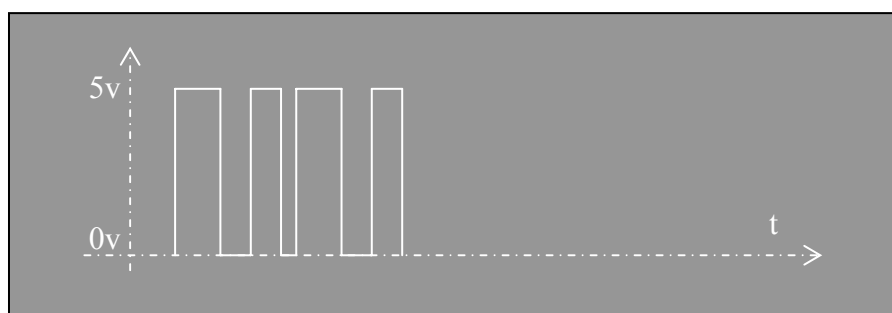


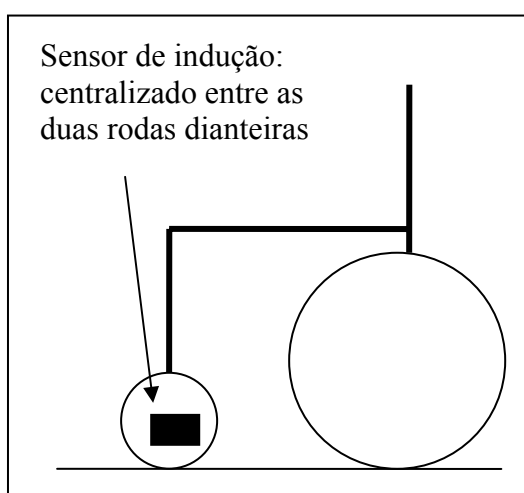
Fig. 5.7 - Níveis de sinal elétrico no fio de dados.

6. Implantação dos sensores na cadeira de rodas

6.1 Considerações sobre o posicionamento dos sensores de indução

Os sensores de indução foram afixados em uma posição da cadeira de rodas, entre as rodas livres (Fig. 6.1), visando as seguintes características de funcionamento:

- Posição do sensor de indução avançada em relação à cadeira: O sensor de indução tem como propósito descobrir e “enxergar” uma trilha no piso. Portanto deve estar em uma posição frontal.
- Altura regular em relação ao piso e proteção ao sensor na transposição de obstáculos: Em uma situação onde a cadeira atravessa ressaltos ou depressões, bem como no início e final de rampas, é necessário garantir-se que o sensor permaneça a uma distância segura do piso. Além de proteção mecânica, o seu funcionamento correto depende também do posicionamento a uma distância previsível e constante em relação ao solo. A sua posição alinhada ao eixo das rodas livres garante esta característica, uma vez que as rodas acompanham o piso.
- Reação posicional do sensor a uma manobra de giro: O algoritmo de acompanhamento da trilha condutora, realimentado pelo sensor, prevê manobras de giro da cadeira, onde o sensor deve corresponder deslocando-se para a direita em um giro no sentido horário, e para a esquerda no sentido anti-horário. Mais uma vez, a sua posição entre os eixos da roda livre, adiante das rodas de tração, permite o funcionamento esperado, tal como mostrado na Fig. 6.1.



(a)



(b)

Fig. 6.1 - Posicionamento do sensor de indução na cadeira de rodas robótica.

6.2 Considerações sobre o posicionamento do leitor RFID

O leitor de cartões RFID cumprirá a missão primária de detectar a efetivação da transposição do trecho guiado pela trilha condutora. Esta detecção se dará pela simples leitura do cartão posicionado à direita do trajeto, em um ponto onde se assegura que a cadeira já ultrapassou o trecho com medidas críticas que se pretende vencer. Neste ponto a navegação deve retornar ao outro estado, onde será guiado pelo mapeamento dinâmico do ambiente. Segundo estas premissas, o leitor RFID foi alinhado em uma posição bem atrás do veículo, tal como mostrado na Fig. 6.3 .

Outra consideração deve ser feita sobre a flexibilidade de localização dos cartões RFID. O ideal é que o mesmo possa ser aplicado tanto na posição vertical, colado aos marcos de portas e paredes (por exemplo) como na horizontal, no próprio piso, dando todas as possibilidades de configuração do ambiente em qualquer situação. Para se obter tal flexibilidade foi fixado o leitor RFID em uma posição baixa, aproximadamente 20 cm do solo e orientando o seu eixo de leitura a 45° em relação ao solo (Fig. 6.3). Desta forma, é possível ler-se cartões posicionados tanto na horizontal quanto na vertical (e, eventualmente, inclinados).

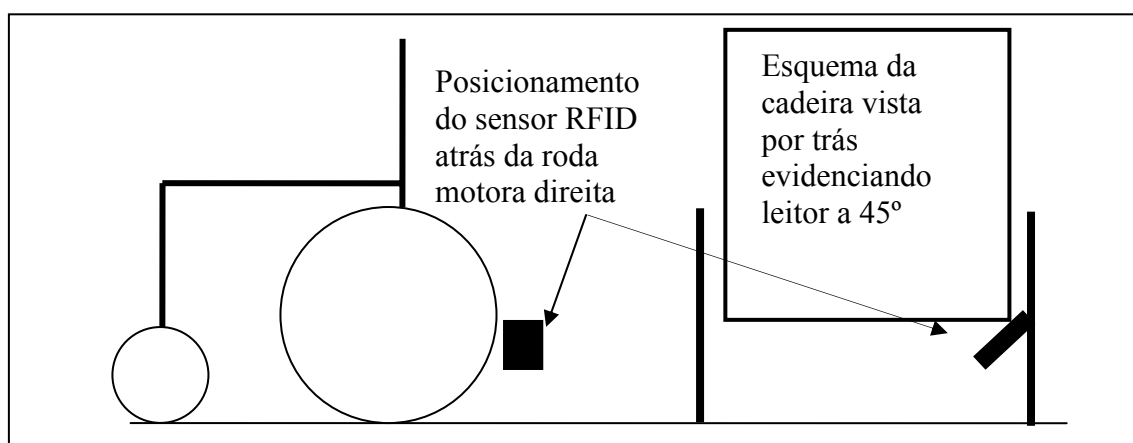


Fig. 6.2 - Esquema de posicionamento do leitor RFID na cadeira de rodas robótica.



Fig. 6.3 – Foto do leitor RFID implantado na cadeira de rodas robótica.

6.3 Conexões elétricas entre a placa do sensor de indução e a placa de periféricos

O sensor de indução provê duas saídas digitais, onde um nível elétrico de 5 V indica presença de placa metálica sob o sensor, sendo a ausência indicada por um nível de 0 V. Estes sinais são recebidos pela placa de controle de periféricos da cadeira de rodas, permitindo ao software residente no processador de bordo consultar o sensor através de troca de mensagens com esta placa, via interface serial. A Fig. 6.4 apresenta o esquema de conexões entre o sensor e a placa de periféricos. A alimentação deve ser entre 7,5 e 12 V.

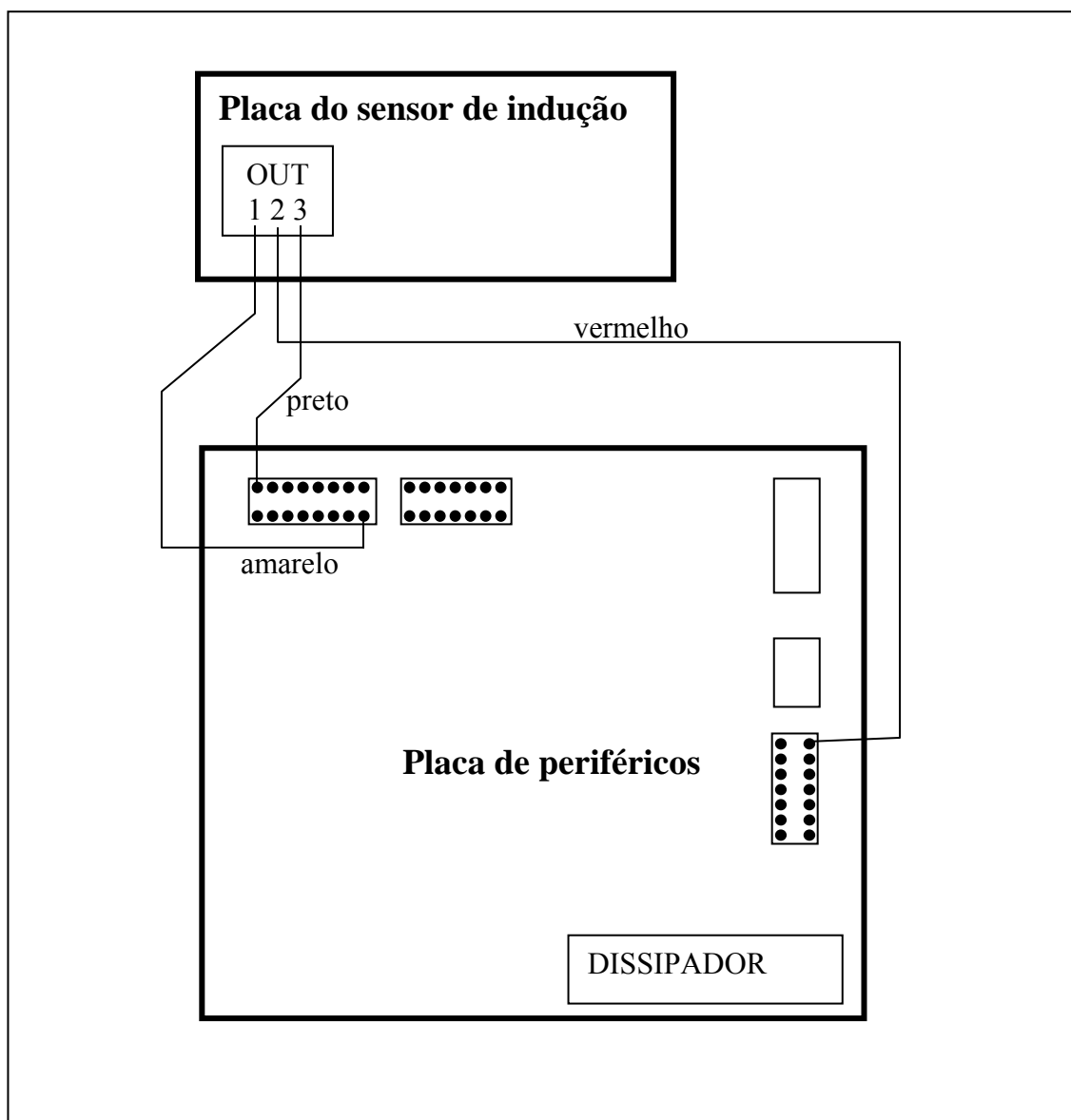


Fig. 6.4 - Conexões dos sinais lógicos do sensor de indução na placa de periféricos.

6.4 Conexões elétricas entre o leitor RFID e o sistema da cadeira de rodas

O leitor de cartões RFID comunica-se via interface serial diretamente com o processador de bordo que controla as funções de alto nível da cadeira de rodas. Neste processador, a serial 1 é conectada à placa de periféricos e o leitor de RFID utiliza a serial 2. A alimentação deve ser de 12 V.

6.5 Desenvolvimento do software de controle de navegação

O programa de controle de navegação em passagens críticas, proposto neste trabalho, assume o controle da cadeira de rodas em uma região próxima à trilha definida no piso da passagem que deverá ser transposta. Estando ainda totalmente fora desta trilha, o programa assume que uma trajetória retilínea para frente a interceptará diagonalmente, conforme as diferentes situações ilustradas na Fig. 6.5. Após uma conjunção de eventos em particular (ver algoritmo de aproximação - Anexo III) a cadeira será considerada sobre a trilha e um outro algoritmo, o de navegação auto-guiada, se encarregará de movimentar a cadeira segundo aquela trajetória. Finalmente, um evento caracterizado por uma leitura de um cartão RFID originado em uma linha de processamento paralela, sinalizará o fim do percurso sobre a trilha e, portanto, da passagem crítica definida por esta. O programa finaliza então a sua atuação devolvendo o controle para o outro algoritmo de navegação autônoma da cadeira de rodas.

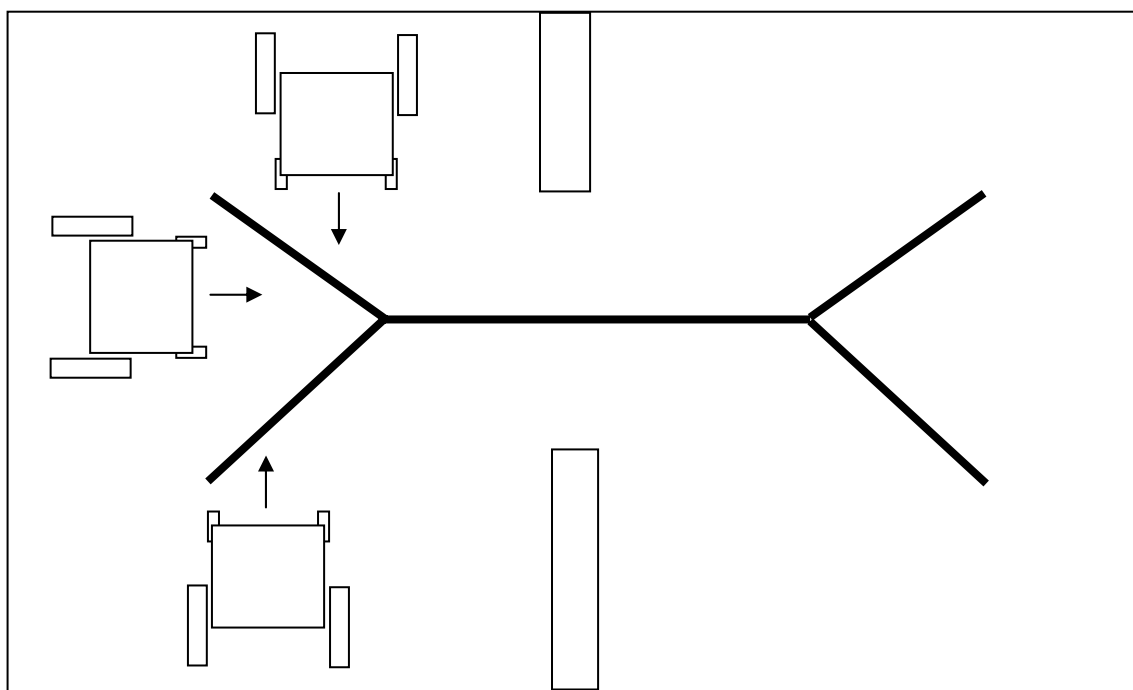


Fig. 6.5 - Cadeira de rodas na fase de aproximação.

O programa de controle desenvolvido comunica-se diretamente com o par de sensores de indução e com o controlador de velocidade dos dois motores da cadeira de rodas. Recebe, indiretamente, sinalização dos eventos de leitura de cartões RFID, capturados por um processo auxiliar paralelo que supervisiona a leitora destes cartões.

6.6 Formatos das mensagens trocadas com a placa de controle de periféricos

A leitura dos sensores de indução é obtida encaminhando-se à placa de periféricos um byte contendo a letra “e” em ASCII. Os retornos possíveis indicando os estados dos sensores de indução estão representados na Tabela 6.1. Convenciona-se que 0 indica fora da trilha e 1 indica dentro.

Tabela 6.1 - Possíveis estados dos sensores de indução vindos da placa de periféricos.

Byte de retorno	Sensor esquerdo	Sensor direito
“n”	0	0
“d”	0	1
“e”	1	0
“a”	1	1

O acionamento dos motores é feito pelo envio à placa de periféricos de dois comandos, sendo um, controlador da velocidade de ambos os motores, formado pela letra “v” seguido de 2 bytes, ou alta e baixa ordem, respectivamente, e contendo um valor binário em complemento de dois que representa a velocidade em milímetros por segundo. O outro comando, consistindo da letra “w” seguido por um número binário no mesmo formato, representa a diferença de velocidade entre os dois motores, também em milímetros por segundo.

6.7 O algoritmo de aproximação

Estando a cadeira de rodas próxima ao início da trilha a ser transposta (ver Fig. 6.5), este algoritmo comanda um movimento para frente até que os dois sensores tenham percebido a presença da trilha, mesmo que isto não ocorra simultaneamente. No momento em que o segundo sensor for acionado o algoritmo termina, passando para a próxima fase (algoritmo de navegação auto-guiada - item 6.8) que manterá a cadeira de rodas sobre a trilha.

6.8 O algoritmo de navegação auto-guiada

Este algoritmo constitui-se em um sistema de controle realimentado em malha fechada. Os sensores de indução utilizados adiante das rodas de tração, ao centro da cadeira, são binários, assumindo em princípio quatro situações distintas básicas, definidas por estarem ou não sobre a faixa condutora.

As situações previstas e ações correspondentes são:

- 1) Ambos os sensores sobre a trilha (1 e 1): A largura da trilha condutora é tal que permita aos sensores estarem sobre a mesma simultaneamente, com uma pequena tolerância de movimentação lateral. Nesta situação os motores são instruídos a

movimentar a cadeira para frente em uma velocidade v dependente do fator de estabilidade atual, conforme descrito adiante.

- 2) Um sensor fora da trilha e outro na trilha (0 e 1) ou (1 e 0): Por exemplo, supondo-se que o sensor esquerdo escape da trilha, o motor direito tem a sua velocidade reduzida, passando a se movimentar mais lentamente por um fator de proporção definido por um parâmetro do algoritmo. Quanto maior o fator, mais enérgica será a reação angular, influenciando significativamente na estabilidade do trajeto do veículo. Embora este parâmetro, ajustável, permaneça fixo durante a operação, a velocidade escalar de ambas as rodas será dependente de outro fator, o fator de estabilidade, que varia continuamente durante a navegação em função do nível de estabilidade percebido pela realimentação obtida dos sensores.
- 3) Perda da trilha (0 e 0): Esta é uma situação extrema, quando faz-se necessário determinar por qual lado foi a fuga, permitindo reorientar a cadeira de volta à trilha. Com este fim, o algoritmo mantém memorizada a última situação dos sensores que tenha sido caracterizada por (1 e 0) ou (0 e 1), o que indicará qual sensor perdeu primeiro o contato. O seu lado coincidirá com o do escape. O algoritmo determina a paralisação total de um motor e o acionamento do outro, o mais distante da trilha, tendo o cuidado antecipado, porém, de forçar para zero (mínimo) o fator de estabilidade.

Definição do fator de estabilidade:

Esta variável que será denominada pela letra “ f ”, é um fator que determina continuamente a velocidade dos motores, o que é feito a cada ciclo de leitura dos sensores. O seu valor representa a integral de duas constantes, sendo uma negativa e, portanto, o fator será acrescido de um delta negativo parametrizável, em cada ciclo de leitura, sempre que um sensor se apresentar fora da trilha. Por outro lado, o fator será acrescido de um delta positivo, também parametrizável, sempre que ambos os sensores se encontrarem sobre a trilha. Caso ambos os sensores estejam fora da trilha o seu valor é minimizado incondicionalmente, com base em um valor mínimo, dado por um parâmetro específico. O aumento do valor de f tem o seu limite máximo também definido por um parâmetro.

7. Teste integrado – motores, sensores e algoritmos

7.1 Montagem das trilhas de teste

Material para as trilhas:

As trilhas foram construídas com chapas de alumínio de 0,3 mm de espessura, das quais se confeccionou tiras retas de 85 mm por 900 mm conforme a ilustração da Fig. 7.1.

Em uma instalação definitiva podem-se utilizar cortes com a mesma largura e traçado curvo, suavizando o trajeto da cadeira de rodas.



Fig. 7.1- Tiras básicas para construção das trilhas de teste.

7.2 Montagem de caminho de teste em um ambiente real

Consoante ao objetivo deste trabalho, de propiciar à cadeira de rodas uma facilidade de transpor espaços com pouca tolerância em medidas, foi selecionada uma área de circulação residencial, tipicamente estreita. A planta baixa da Fig. 7.2 apresenta a trilha com o seu início na forma de uma região de abordagem em Y e um ponto final delimitado pelo cartão RFID. Convém, para maior facilidade de orientação quanto ao sentido do trajeto, no modo auto-guiado após a abordagem, que o ângulo central do Y seja inferior a 90°.

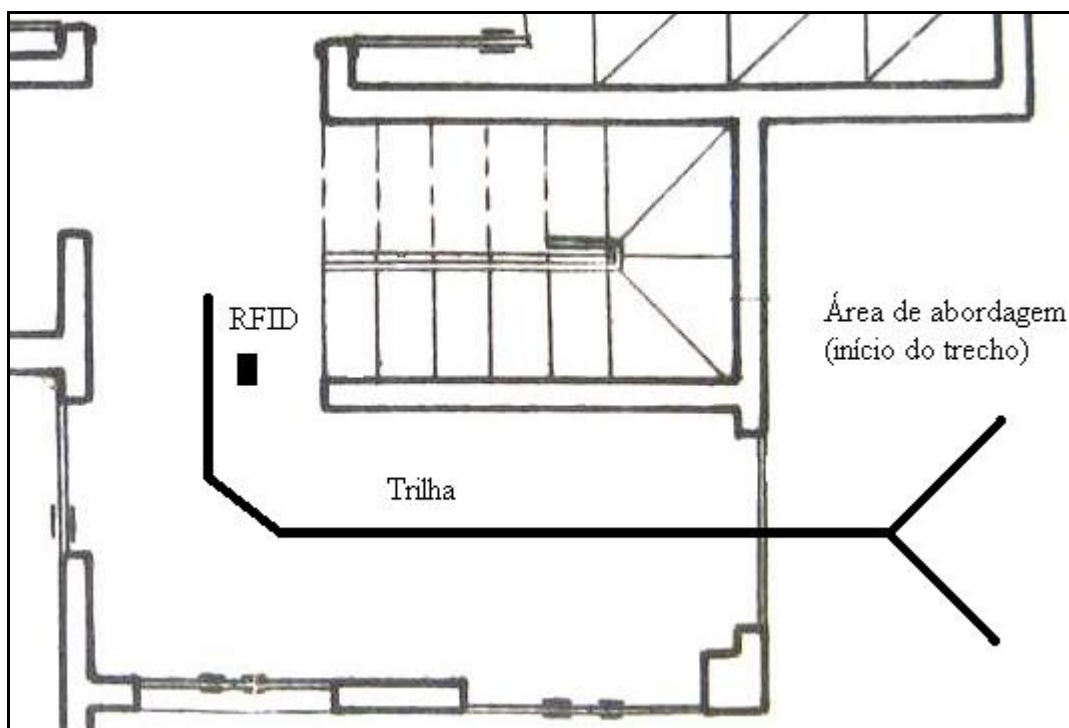


Fig. 7.2 - Planta baixa representando a trilha de testes.

7.3 A infra-estrutura utilizada para os testes

Os ensaios e depuração deste trabalho foram inicialmente realizados utilizando-se um robô comercial. As razões para tal, são princípios associados a métodos de desenvolvimento, que recomendam testes isolados de subsistemas, que, pela adoção de plataforma já estabilizada, significa minimizar as variáveis de incertezas relacionadas ao funcionamento, conferindo maior previsibilidade de comportamento no momento da integração ao projeto como um todo. Adicionalmente, a cadeira de rodas encontrava-se, no momento, com outras frentes de desenvolvimento simultâneas, sendo algumas relacionadas com a sua infra-estrutura robótica, como a placa de periféricos, necessária para o controle de baixo nível dos motores e acesso aos periféricos. Esta placa, que atualmente está recebendo melhorias construtivas, é responsável, entre outras, por interligar o sensor de indução ao processador de bordo onde, no projeto, deverão operar os algoritmos deste trabalho.

O hardware e sistema operacional da plataforma de testes:

Os testes foram feitos com um robô do tipo NXT da marca Lego (Fig. 7.3). Este equipamento possui um bloco de controle com recursos de sistema operacional *multithread*, qualificável como um sistema de tempo real, com escalonamento de prioridades, *timers* capazes de suspender e re-escalonar tarefas, eventos e os recursos característicos de um bom sistema operacional dedicado a este fim.

Os motores são controlados por PWM e possuem os *encoders* integrados aos mesmos. A infra-estrutura de software de baixo nível do bloco de controle disponibiliza comandos de alto nível para acionamento destes motores, realizando o tratamento do conjunto motor e *encoder*,

oferecendo na interface facilidades como definir diretamente a velocidade, posição final de deslocamento, movimento sincronizado entre motores e outras facilidades. Se desejado, oferece acesso de baixo nível ao motor e *encoder*.

As interfaces para periféricos oferecem duas opções em cada porta (conector tipo RJ), ambas muito versáteis, sendo uma analógica, para a qual o bloco de controle oferece suporte de leitura de um valor de 10 bits correspondente à tensão analógica de zero a cinco volts, aplicado na entrada. Outra, digital, na forma de um barramento padrão I2C, para o qual o bloco de controle permite comandos do tipo *master* ao aplicativo, emitindo o endereço de seleção de periféricos no barramento e trocando dados por meio de comandos de escrita e leitura. A interface para a interligação dos dois sensores de indução (nível lógico) e do sinal tipo pulso indicador de “cartão lido” foram feitos usando as entradas analógicas.

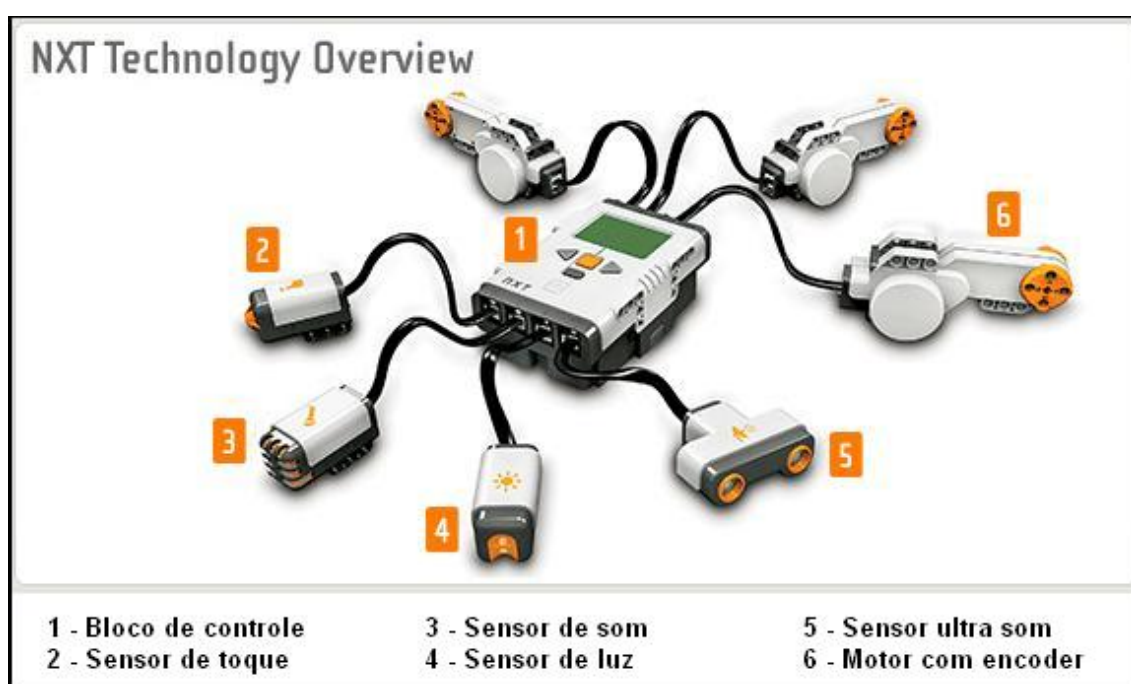


Fig. 7.3 - O robô NXT utilizado nos testes.
(Lego, 2008)

A linguagem e interfaces com periféricos:

A linguagem original do NXT é destinada a fins educacionais e possui algumas limitações, especialmente relacionadas ao desempenho e porte de programas. Esta não é recomendável para este trabalho, por razões de baixa similaridade e nenhuma portabilidade com o sistema fim (a cadeira de rodas).

A linguagem preferencial do projeto, e a adotada para os algoritmos deste trabalho, é a linguagem C. O Centro Nacional de Robótica da Carnegie Mellon University – Estados Unidos, oferece comercialmente um dialeto bastante fiel de linguagem C, chamada “ROBOTC”, juntamente com ambiente de desenvolvimento e depuração que, além de produzir códigos executáveis extremamente compactos e velozes, permitem depuração em tempo real. A interface gráfica no PC permite total controle do bloco NXT via USB, disponibilizando as principais variáveis, como estados, valores de sensores e posições de

encoders, que assim podem ser monitorados facilmente. Isto favorece o desenvolvimento de soluções de alto nível, a despeito do pouco porte (físico) do robô.

7.4 O robô de testes

A Fig. 7.4 apresenta a montagem dos sensores de indução na mesma altura prevista para uso na cadeira de rodas, a 3,5 cm de altura do solo. Apresenta também a montagem do leitor RFID atrás do robô NXT. Os sensores de indução foram localizados a uma distância considerável, em torno de 20 cm adiante das rodas de tração, para reproduzir nos testes, comportamento análogo à cadeira de rodas quanto ao controle dos motores e o decorrente retorno obtido pelos sensores de indução.

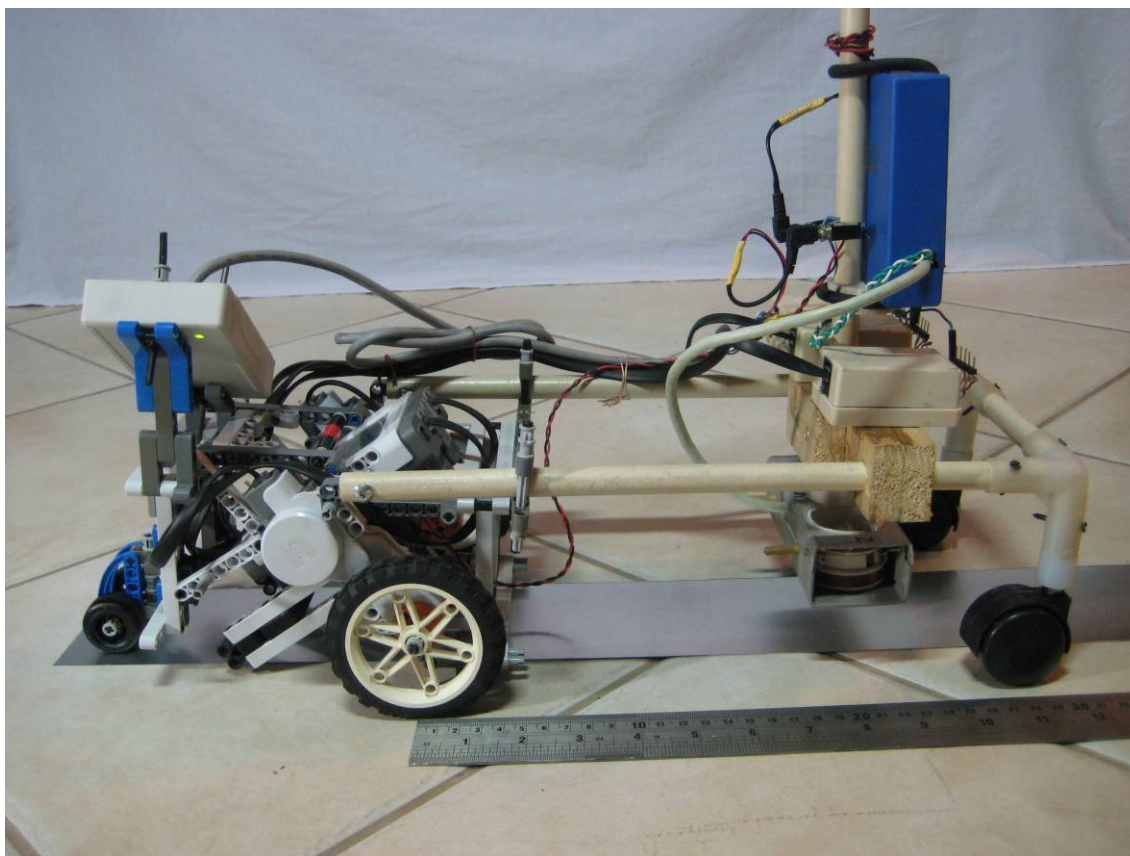


Fig. 7.4 - O robô de testes.

A Fig. 7.5 apresenta uma vista frontal do robô, destacando os sensores de indução (um e dois) e os LEDs vermelhos correspondentes na caixa dos circuitos acusando a presença da trilha sob o sensor.

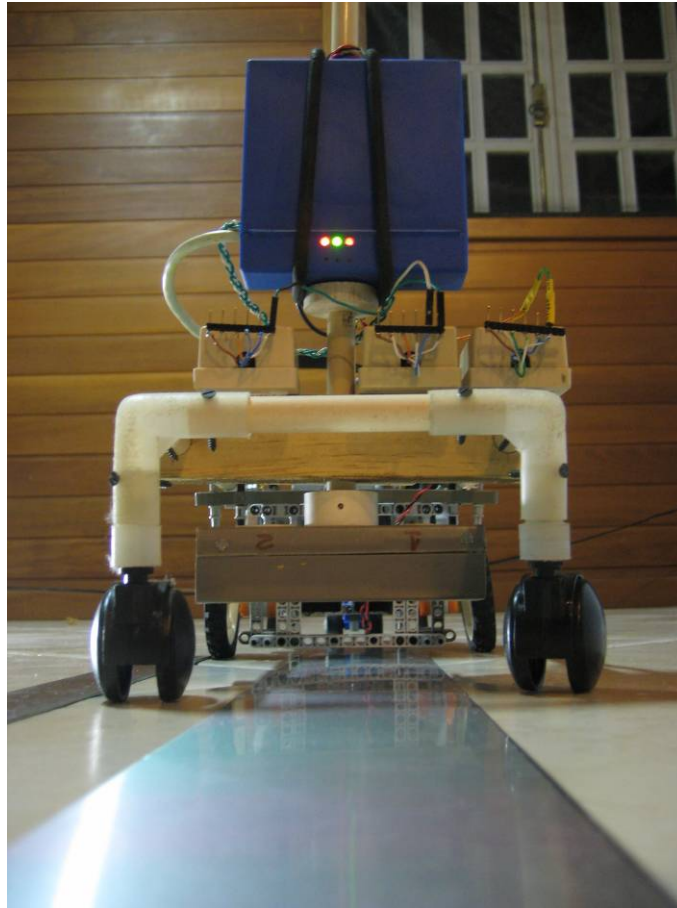


Fig. 7.5 - Vista frontal do robô de testes.

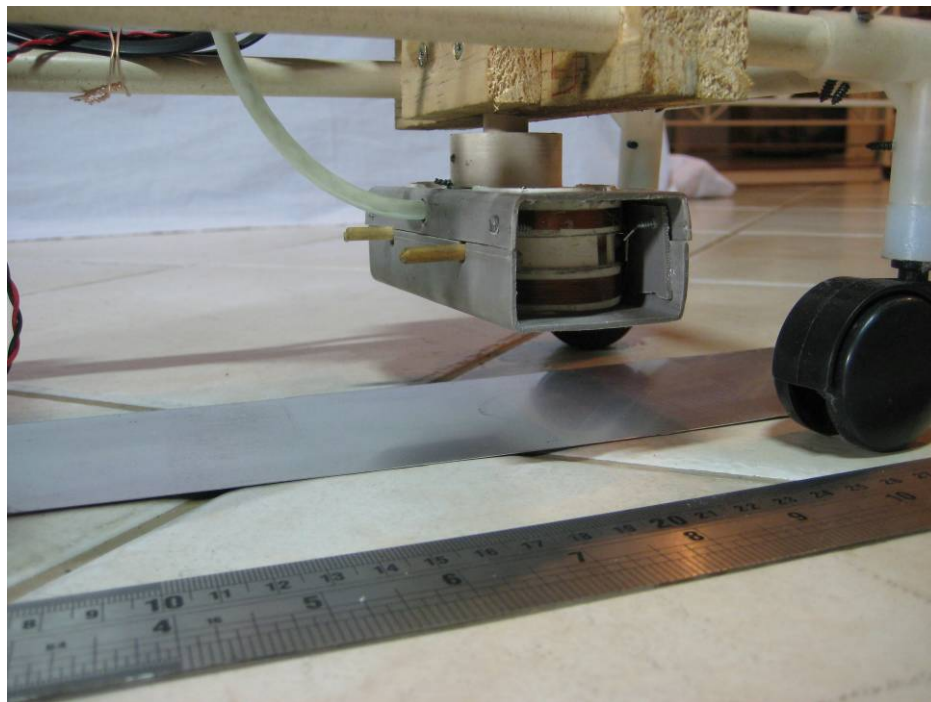


Fig. 7.6 - Detalhe do sensor de indução sob o robô de testes.

7.5 Os testes e os resultados obtidos

Após montados o robô e a trilha, foram realizados vários testes onde o robô foi colocado próximo ao ponto de abordagem para capturar a trilha, segui-la e parar no ponto delimitado pelo cartão RFID. Os seguintes aspectos foram observados:

- Grau de acerto em abordagem: Total, 10 em 10 tentativas. Obs.: Forçando-se a abordagem por ângulos extremos em relação à trajetória (contrários ao sentido da mesma) resultou em reconhecimento da trilha, viagem até uma das extremidades iniciais do “Y”, seguido de manobra de contorno do ponto extremo alcançado, e finalmente continuando no sentido correto pela trilha.
- Estabilidade no seguimento da trilha: Os ajustes iniciais demonstraram estar provocando reação muito enérgica à fuga lateral (perda parcial) da trilha. Foram realizadas alterações nos parâmetros (delta v positivo e negativo) que regulam dinamicamente, por integração, o fator de estabilidade. Após os ajustes, o movimento do robô ficou visivelmente mais suave. Obs.: A natureza binária atual dos sensores de indução torna o controle da trajetória mais difícil, inviabilizando a redução de pequenas oscilações ainda perceptíveis, mesmo que rapidamente atenuadas.
- Medidas máximas de desvio da linha central da trilha durante o trajeto: O valor máximo que o robô fugiu da linha central definida pela trilha, medido na linha de fixação dos sensores de indução, foi menor que três centímetros. Este valor indica que a folga mínima total em uma passagem qualquer entre o veículo e os obstáculos fixos deve ser de pelo menos seis centímetros.
- Desempenho do robô: A velocidade das primeiras experiências foi baixa devido à trajetória muito oscilante. A perda parcial freqüente da trilha provocou redução do fator de estabilidade e, por consequência, redução da velocidade. Após a correção dos fatores relacionados com o ganho da malha de controle, resultando na melhoria das oscilações, a velocidade da trajetória melhorou sensivelmente conforme mostrado na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Velocidade média alcançada nos testes.

	Tempo médio (s)	Velocidade média (m/s) (Comprimento médio da trilha: 4,5 m)
Antes do ajuste	32	0,14
Após ajuste	26	0,17

7.6 Testes realizados na cadeira de rodas

Diversos testes foram realizados com o sistema de navegação por trilhas passivas na cadeira de rodas. Primeiramente realizaram-se testes em bancada, posteriormente sobre trilhas reais em espaço amplo, e finalmente com usuários humanos, incluindo voluntários com deficiências motoras, em trechos de difícil navegação.

Testes de bancada: Testou-se o conjunto de sensores de indução com a seguinte disposição: Utilizou-se um PC em bancada contendo uma versão do programa de navegação modificado para os testes, tendo a placa de periféricos ligada, intermediando os sinais dos sensores ao PC. Os sensores de indução foram colocados na sua posição final de funcionamento, com o fim, principalmente, de avaliar ruídos. Os motores da cadeira de rodas foram acionados e solicitados mecanicamente por frenagem nas rodas para que produzissem correntes de plena carga. Os fios de potência do motor foram aproximados dos sensores de indução até que se observassem interferências no seu funcionamento. Constatou-se que em distâncias pequenas como 10 cm, ou menos, o ruído inviabilizou o funcionamento dos sensores, tornando-os instáveis. Ao afastar dos sensores a fiação de força para mais de 20 cm, conseguiu-se garantir o seu funcionamento em condições perfeitamente estáveis, sem necessidade de blindagens ou outras providências. É importante evidenciar que os motores são controlados por modulação em largura de pulso (PWM), e espera-se em um raio bem superior a 20 cm dos cabos que a intensidade dos campos eletromagnéticos (ruídos) não seja desprezível, evidenciando a eficácia das abordagens de imunidade a ruídos realizadas no projeto dos sensores e discutidas no capítulo pertinente deste trabalho.

Testes de comunicação: Os comandos de consulta aos estados dos sensores, emitidos pelo programa, acusaram funcionamento estável conforme previsto. Utilizando-se um segmento de tira de alumínio variaram-se os estados, sendo que estes foram corretamente lidos pelo programa no PC.

Testes realizados com o controlador dos motores usando os algoritmos de navegação: Os programas de navegação testados no ambiente de testes foram portados para o ambiente final, do computador de bordo (PC) da cadeira de rodas robótica. Após ajustada a lógica de interface com os motores, pois no robô de testes essa interface é diferente, foram realizados vários ensaios de navegação com as trilhas de alumínio sob o sensor de indução, em diversas situações possíveis. Foi verificado, em todos os ensaios realizados, o comportamento previsto no projeto.

Testes de funcionamento da cadeira de rodas navegando sobre as trilhas de alumínio: Os sensores de indução e RFID foram colocados e ajustados nas suas posições definitivas. Armou-se uma trilha no piso, ainda em espaço amplo, com quatro pontos de parada definidos por etiquetas RFID posicionadas ao longo da mesma. Diversos testes foram feitos e constatou-se a grande confiabilidade do sistema ao percorrer as trilhas, sem erros a reportar, exceto os ocasionados por alguns problemas de depuração do porte dos algoritmos para o PC embarcado, estes facilmente sanados.

Teste de funcionamento final: Montou-se finalmente uma trilha atravessando uma porta de 80 cm de largura e com dificuldades na sua proximidade, devido a presença de um balcão de alvenaria próximo, de tal sorte que até mesmo para um operador sem deficiência motora, usando o *joystick* da cadeira, o trecho constituía um desafio de movimentação, como ilustrado na Fig. 7.7. Este trecho foi usado pelo menos dez vezes, tanto de fora para dentro da sala

quanto de dentro para fora, com diversos usuários voluntários, sem e com deficiência motora. Todos os resultados foram bem sucedidos, tendo a cadeira atravessado a passagem com sucesso e estacionado ao alcançar a etiqueta RFID ao final do trajeto, que na saída foi afixada na vertical, a 20 cm do piso, no marco da porta. Na entrada, a etiqueta foi aplicada ao chão, em um ponto mais avançado, após a transposição dos obstáculos próximos à porta (bancada fixa em alvenaria e mesa). Alguns vídeos foram realizados, e estão disponíveis na mídia digital anexa a este trabalho.



Fig. 7.7 - Trilha montada para testes finais em uma porta de 80 cm

8. Conclusões

Este trabalho foi centrado no propósito de oferecer um método de navegação para uma cadeira de rodas robótica que, ao movimentar-se pelos ambientes valendo-se de outros métodos de navegação dinâmica, depara-se com certa complexidade em regiões de passagens estreitas, como portas.

O desafio de encontrar ou criar tal método de navegação, culminou pelo desenvolvimento de uma abordagem análoga à utilizada nos veículos auto-guiados, os AGV (*Auto Guided Vehicles*), mas com readequações das técnicas de construção das trilhas e sensores, visto que os métodos normalmente utilizados na indústria e armazéns mostraram-se muito dispendiosos ou excessivamente impactantes ao ambiente para o uso em cadeiras de rodas. Por meio dessa abordagem, o trabalho conseguiu resolver plenamente o desafio proposto, preservando a confiabilidade e precisão típica dos AGV, mas, com grande facilidade de instalação no ambiente e readequações futuras, devido à utilização de trilhas passivas no lugar de fios emissores de sinais. Evidencia-se igualmente o baixo custo alcançado, tanto nos equipamentos, quanto na adaptação ou readaptação do ambiente.

O sistema de navegação construído neste trabalho, além do exposto, demonstrou grande flexibilidade de aplicações nas configurações das rotas. A introdução da tecnologia de etiquetas RFID, por exemplo, permitiu obter um retorno de informação de posicionamento real da cadeira, a partir dos pontos identificados no ambiente, sendo desta forma útil, também, para auxiliar a navegação autônoma, e para outros usos, como informar o usuário sobre a localização atual.

Os objetivos deste trabalho foram alcançados plenamente, mas está longe de se encontrarem exauridas a possibilidade de evoluções, algumas imediatamente visíveis, como continuidade deste trabalho. Em particular, o sensor de indução pode evoluir para versões comerciais que venham a demonstrar atender à aplicação, ou ter o seu desenvolvimento ampliado, para que, analógica ou digitalmente, seja capaz de fornecer um valor proporcional ao afastamento da trilha, o que contribuirá para melhorar a precisão e suavidade do controle da cadeira de rodas no processo de navegação auto-guiada. Os algoritmos de controle usados podem igualmente evoluir, constituindo-se neste caso em um exercício de aplicação de abordagens já bem consolidadas e consagradas no contexto dos AGV.

Finalmente, evidencia-se que este trabalho foi particularmente bem sucedido na complementação da estratégia de navegação autônoma, alcançando o propósito de oferecer uma solução para situações onde a complexidade do ambiente poderia encarecer demais a solução, resultar em limitações de mobilidade ou na redução da confiabilidade do seu funcionamento. Contribuiu significativamente, desta forma, para o êxito do projeto como um todo, de levar solução viável, alcançável, e que amenize as limitações extremas, a pessoas com deficiências motoras muito graves.

Bibliografia

Acura, Leitor RFID AP-30. Manual do produto, 2006.

Álvares, A. J., Bastos-Filho, T. F., Schneebeli, H. A., Tourino, S. R. G., Robôs Móveis - Tendências e Aplicações Especiais, do livro Robótica Industrial, Editora Edgard Blücher LTDA, c. 11, p. 192,193, 2002

Bastos-Filho, T. F., Apostila de Oficina de Robótica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 1999

Celeste, W. C., Filgueira, P. N. S., Bastos-Filho, T. F., Sarcinelli-Filho, M., De La Cruz, C., Cheeín, F. A. A., Carelli, R.- Modelo Dinâmico e Controle de uma Cadeira de Rodas Autônoma para Pessoas com Deficiência Motora Severa, Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, UFSC, Florianópolis, 2007.

EAN Brasil – “Epc - Código Eletrônico de Produtos” obtido em www.eanbrasil.org.br, 2008.

EPC Global, EPC Tag Data Standards Version 1.1 Rev. 1.2.4. Standard Specification, 2004.

Ferreira, A., Silva R. L., Bastos-Filho, T. F., Sarcinelli-Filho, M., Cadeira de Rodas Robótica com Interface de Comunicação por PDA Comandada por Sinais Cerebrais, Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, UFSC, Florianópolis, 2007.

Filgueira, P., Sistema de Controle de Baixo Nível e Instrumentação de uma Cadeira de Rodas Robótica, Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, p. 15-17, 43-47, 2007.

Landt, J., Shrouds Of Time The History of RFID – AIM, The Association for Automatic Identification and Data Capture Technologies, Technical Paper, obtido em www.aimglobal.org ou www.rfidconsultation.eu/menu/35, EUA, p.3-7, 2001.

Lego Group, The, “What Is NXT ?”, obtido em <http://mindstorms.lego.com>, Overview page, 2008.

MIT Auto ID Center, Draft protocol specification for a 900 MHz Class 0 Radio Frequency Identification Tag, Standard Specification, p. 8-45, 2003.

Raza, N., Bradshaw, V., Hague, M., Applications of RFID Technology. Microlise Systems Integration Limited, Reino Unido, Londres, p. 1-5, 1999

Ribeiro, M. I., Uma Viagem ao mundo dos Robots. Anais do evento “Despertar para a Ciência – Ciclo de Colóquios”, promovido pela Universidade de Trás-os-Montes, Portugal, p. 2, 4-5, 2004.

Rocha, R. P. P., Estado da Arte da Robótica Móvel em Portugal, “paper” técnico publicado na Revista Técnico-Científica, Nr. 43, Portugal, p. 5-6, abril de 2001.

- Rocha, R. P. P., Desenvolvimento de um Sistema de Gestão de AGV, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, p. 9, 1998.
- Sarma, S. E., Brock, D., Engels, D., Radio Frequency Identification and The Electronic Product Code - MIT Auto-ID Center, IEEE Computer Society Press, EUA, p. 52, 2001.
- Silva, R. L., Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina Aplicada a uma Cadeira de Rodas Robótica por Meio de PDA, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica., Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, p. 92-108, 2007.
- Texas Instruments, “TAG-IT – Moving Concepts to Reality”, Product Brochure, publicação da Texas Instruments, Dallas, EUA, p. 3,5, 2000

Anexo I Descrição e pinagem dos conectores do sensor de indução

1) ICSP – Destinado a programar o circuito (não utilizado ICSP no trabalho).

Pino	Descrição	Cor cabo
1	MCLR	---
2	VDD	---
3	VSS	---
4	RB7 – Data I/O	---
5	RB6 – CLK	---

2) Out – Saídas digitais dos sensores.

Pino	Descrição	Cor cabo
1	RB2 – Saída Sensor 1	Amarelo
2	VSS	Vermelho
3	RB3 – Saída Sensor 2	Preto

3) Vin – Alimentação 5V.

Pino	Descrição	Cor cabo
1	RB0 – Porta extra	Vazio
2	VCC	Vermelho
3	VSS	Preto

4) L1L2 – Bobinas do Sensor 1

Como está no projeto atual após alterações:

Pino	Descrição	Cor cabo
1	Entrada bobina 1 (oposta)	Azul
2	Comum bobinas 1 e 2	Preto
3	Entrada bobina 2	Vermelho

Como está no protótipo:

Pino	Descrição	Cor cabo
1	Entrada bobina 3 (oposta)	Azul
2	Comum bobinas 3 e 4	Preto
3	Entrada bobina 4	Vermelho
4	VSS – Malha de terra	Branco

5) L3L4 – Bobinas do Sensor 2

Como está no projeto atual após alterações:

Pino	Descrição	Cor cabo
1	VSS – Malha de terra	Branco
2	Entrada bobina 3 (oposta)	Vermelho
3	Comum bobinas 3 e 4	Preto
4	Entrada bobina 4	Azul

Como está no protótipo:

Pino	Descrição	Cor cabo
1	Entrada bobina 1 (oposta)	Azul
2	Comum bobinas 1 e 2	Preto
3	Entrada bobina 2	Vermelho

Anexo II Programa do sensor de indução (PIC16F628)

```

;+++++
;
;   Programa para sensor eletromagnetico de superficies condutoras
;   Edgard Baptista Guimaraes - Mar / 2007
;
;   --- Definicoes de dados, constantes, macros etc... ---
;

list p=16f628
nolist
#include <P16F628.inc>

list
__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _BODEN_OFF & _PWRTE_OFF & _INTRC_OSC_NOCLKOUT &
_MCLRE_ON & _LVP_OFF
ERRORLEVEL -302
ERRORLEVEL -306

movlwf macro reg, k1          ; Move literal k1 para registro da RAM (e W)
    movlw k1
    movwf reg
endm

movfwf macro reg2, reg1      ; Move reg1 da RAM para reg2 da RAM (e para W)
    movf reg1, W
    movwf reg2
endm

;
;   --- Constantes do programa ----
;

FREQ      equ    d'4000000'
;
;
;   --- Memoria RAM interna ---
;

CBLOCK 0x33    ; inicio na area nao usada por math caso esta esteja presente

tot1        ; soma dos resultados do comparador 1 para stat
tot2        ; soma dos resultados do comparador 2 para stat
portab      ; mantem situacao da porta b evitando
             ; uso de bcf e bsf diratamente nesta
cmconaux    ; retem os estados dos comparadores para uso posterior
aux1        ; uso geral de curta duracao
tempo1
tempo2

ENDC

;
;   --- variaveis na area comum a todas as paginas ---
;

CBLOCK 0x70    ; inicio da area compartilhada entre paginas da ram

;
;   -----
;   ENDC
;
;   --- mapeamento da página 1 ---

CBLOCK 0xA0

```

```

ENDC

        org      0x000
        goto     inicio
;+++++
;
;          --- Rotina de interrupcao ---
;
        org      0x004
;
int_proc
        goto     int_proc
;
;
;+++++
;
;          --- Inicio real do programa para sensor de placas metalicas ---
;
inicio
;
;          --- configuracao dos estados e perifericos do chip:
;              clock interno de 4 mhz para processamento ---
;              comparador analogico para receber sinais dos LC
;
;              portas RB2 e RB3 p/ saida digital da comaparacao
;              RB4 e RB5 para excitacao dos LC.

        movlw    b'11111111'
        call     delay          ; da um tempo de 1/2 segundo + ou -

        clrf     INTCON         ; desabilita interrupcoes
        clrf     PIR1           ; limpa flags indicadoras de interrupcao
                                ; este programa nao usa interrupcoes

        bcf      STATUS, RP1    ; ----- banco 1 -----
        bsf      STATUS, RP0    ;

        clrf     PIE1           ;

        movlw    b'11111111'    ; ver doc da aplicacao as funcoes dos pinos ra0-ra7
        movwf    TRISA          ;
        movlw    b'11000011'    ; idem para rb0-rb7 ....
        movwf    TRISB          ;
        bcf      OPTION_REG, 7  ; RBPU: desliga (bit 7) os weak pull-ups da porta b

        bcf      STATUS, RP0    ; -----banco 0 -----

        movlw    b'00000100'    ; configura o modo de operacao dos comparadores
        movwf    CMCON          ; e deixa habilitado

        clrf     PORTA          ; PORTA: outputs iniciam em zero
        clrf     PORTB          ; PORTB: outputs iniciam em zero
        clrf     portab         ; inicializa registro interno da porta b

                                ; inicializa as variaveis do programa
;;;    clrf     xxx            ;

        btfss    PORTB, 0       ; testa porta 0 de entrada
        goto     calibr1        ; se zerada vai para rotina de calibracao

```

```

;+++++++ Loop Principal ++++++
;
;
; Aciona 3 vezes o sensor 1 e conta quantas presencas (de chapa metalica)
; ele detecta. Pode ser 0, 1 2 ou 3
; Se 0, zera a saida digital, se 1 ou 2 nao muda o estado atual da
; saida (histerese), se 3 liga (1) a saida digital.

```

```
ciclo1 clrf    tot1
```

```

    call    comp1      ; esta vez nao vale
    nop     ; so para entrar em regime eletrico
    nop     ; uniforme nos tres ciclos seguintes

```

```

    call    comp1
    btfsc   cmconaux, 7
    incf    tot1, F

```

```

    call    comp1
    btfsc   cmconaux, 7
    incf    tot1, F

```

```

    call    comp1
    btfsc   cmconaux, 7
    incf    tot1, F

```

```

    movf    tot1, W
    btfss   STATUS, Z
    goto    testaclon
    bcf     portab, 2
    movfwf  PORTB, portab

```

```
; Agora faz o mesmo com o sensor 2. Aciona 3 vezes...
```

```
ciclo2 clrf    tot2
```

```

    call    comp2      ; esta vez nao vale
    nop     ; so para entrar em regime eletrico
    nop     ; uniforme nos tres ciclos seguintes

```

```

    call    comp2
    btfsc   cmconaux, 6
    incf    tot2, F

```

```

    call    comp2
    btfsc   cmconaux, 6
    incf    tot2, F

```

```

    call    comp2
    btfsc   cmconaux, 6
    incf    tot2, F

```

```

    movf    tot2, W
    btfss   STATUS, Z
    goto    testac2on
    bcf     portab, 3
    movfwf  PORTB, portab

```

```
    goto    ciclo1
```

```
testaclon
```

```

    sublw   3
    btfsc   STATUS, Z
    bsf     portab, 2
    movfwf  PORTB, portab
    goto    ciclo2

```



```

nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;

movfwf cmconaux, CMCON    ; comparacao analogica de V nas duas bobinas
                           ; fica retido em W


nop                ;
nop                ;
nop                ;
nop                ;
return             ;


;----- Rotina de delay -----
delay movwf tempol
delay1 movlw b'11111111'
      movwf tempo2
delay2 nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      decfsz tempo2, F
      goto delay2
      decfsz tempol, F
      goto delay1
      nop
      return

```



```

;----- Rotina alternativa para calibrar o circuito -----
; realiza um ciclo bem simples para facilitar
; o trigger do osciloscópio

calibr1
    movlw b'00000000'
    call delay

    call comp1
    btfsc cmconaux, 7
    goto seta_rb2
    nop
    bcf PORTB, 2
    goto calibr2
seta_rb2
    bsf PORTB, 2
    goto calibr2

calibr2
    movlw b'00000000'
    call delay

    call comp2
    btfsc cmconaux, 6
    goto seta_rb3
    nop
    bcf PORTB, 3
    goto calibr1
seta_rb3
    bsf PORTB, 3
    goto calibr1

end ; final do código válido

```

Anexo III Programa C – rotinas de abordagem e navegação

```

/*****
* Constantes nomeadas gerais
*****/
const short SOBRE_FAIXA      = 1;
const short FORA_FAIXA       = 0;

/*****
* Fatores de controle da estabilidade da trajetoria
*****/
const short VELOCIDADE_MINIMA = 25;
const short VELOCIDADE_MAXIMA = 70;
const float DELTA_V_FORA      = -2.5; // valor a integrar ao fugir da faixa
const float DELTA_V_DENTRO    = +0.3; // valor a integrar qdo permanece na faixa
const float FATOR_CURVA       = 2.0; // proporcao da vel entre rodas qdo instavel
const short TICK_APROXIMA     = +30;
const short TICK_SEGUE_FAIXA  = +30;
const short TICK_RFID         = +10;

/*****
* Variaveis globais - comunicacao entre threads
*****/
short achouRFID               = false; // variavel de comunicacao c/ thread RFID

/*****
* VelocidadeMotor: Retorna a velocidade (corrigida) do motor podendo aplicar
* alguma funcao
*****/
short velocidadeMotor ( int vi ) {
    return (vi);
}

/*****
* integra: Integra um delta v na velocidade atual, sendo o delta v um valor
* positivo, quando o veiculo encontra-se na faixa ou negativo, se fora
*****/
float integra ( float intg, float deltaV ) {
    float aux;

    aux = intg + deltaV;

    if (aux < VELOCIDADE_MINIMA) { aux = VELOCIDADE_MINIMA; }
    if (aux > VELOCIDADE_MAXIMA) { aux = VELOCIDADE_MAXIMA; }

    return aux;
}

/*****
* sensorNaFaixa: Retorna o estado do sensor
*****/
short sensorNaFaixa(tSensors s){
    if (SensorRaw[s] > 500) { return true; }
    return false;
}

/*****
* aproxima: segue reto ate que ambos os sensores detectem a faixa metalica
* OBS: reduz para V minima quando o primeiro sensor percebe a faixa
*****/
void aproxima () {

    nMotorPIDSpeedCtrl[motorA] = mtrSpeedReg; // enables motor speed regulation
    nMotorPIDSpeedCtrl[motorC] = mtrSpeedReg; // enables motor speed regulation
    bFloatDuringInactiveMotorPWM= true;       // float
    nSyncedMotors               = synchAC;     // sincroniza C com A

```

```

motor[motorA]=velocidadeMotor(2 * VELOCIDADE_MINIMA);
motor[motorC]=velocidadeMotor(2 * VELOCIDADE_MINIMA);

while ( ! (sensorNaFaixa(S1) && sensorNaFaixa(S2)) ) {
    wait1Msec(TICK_APROXIMA);
    if (sensorNaFaixa(S1)) {
        motor[motorA]=velocidadeMotor(VELOCIDADE_MINIMA);
        motor[motorC]=velocidadeMotor(VELOCIDADE_MINIMA);
    }
}
motor[motorA]=velocidadeMotor(0);
motor[motorC]=velocidadeMotor(0);
return;
}

/*****
* segueFaixa: Acompanha a faixa metalica, aumentando a velocidade quando perma-
* nece estavel sobre a mesma, reduzindo ao oscilar e indo a V minima se sair
* totalmente. Em qualquer caso nunca perde a orientacao de retorno aa faixa.
*****/
void segueFaixa(){

    short S1NaFaixa, S2NaFaixa;
    float velocidadeIntegrada = VELOCIDADE_MINIMA;

    // integral que reflete o nivel de estabilidade atual e vel a aplicar

    short ultimoLadoSaida= 0;      // guarda o ultimo de saida da faixa
                                   // 0 = nao inicializado (null);
    const short SAIU_ESQUERDA =1; // 1 = saiu pela esquerda;
    const short SAIU_DIREITA  =2; // 2 = saiu pela direita;

    nMotorPIDSpeedCtrl[motorA] = mtrSpeedReg;// enables motor speed regulation
    nMotorPIDSpeedCtrl[motorC] = mtrSpeedReg;// enables motor speed regulation
    bFloatDuringInactiveMotorPWM= false;      // float (coast)
    nSyncedMotors                = synchNone;  // motores independentes

    motor[motorA] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);
    motor[motorC] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);

    achouRFID = false;

    while (! achouRFID ) {

        S1NaFaixa = sensorNaFaixa(S1);
        S2NaFaixa = sensorNaFaixa(S2);

        if ( S1NaFaixa && S2NaFaixa ) {
            velocidadeIntegrada = integra(velocidadeIntegrada, DELTA_V_DENTRO);

            motor[motorA] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);
            motor[motorC] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);

            velocidadeIntegrada = integra(velocidadeIntegrada, DELTA_V_DENTRO);
        } else

        if ( S1NaFaixa ^ S2NaFaixa ) {

            velocidadeIntegrada = integra(velocidadeIntegrada, DELTA_V_FORA);

            if ( S1NaFaixa ) {
                motor[motorA] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada) / FATOR_CURVA;
                motor[motorC] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);
                ultimoLadoSaida = SAIU_DIREITA;
            } else {
                motor[motorA] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);
            }
        }
    }
}

```

```

        motor[motorC] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada) / FATOR_CURVA;
        ultimoLadoSaida = SAIU_ESQUERDA;
    }

    } else { // perdeu a faixa !!!

        velocidadeIntegrada = VELOCIDADE_MINIMA;
        if ( ultimoLadoSaida == SAIU_DIREITA ) {
            motor[motorA] = 1;
            motor[motorC] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);
        } else {
            motor[motorA] = velocidadeMotor(velocidadeIntegrada);
            motor[motorC] = 1;
        }
    }

    wait1Msec(TICK_SEGUE_FAIXA);

}

return;
}

/*****
* supervisionaRFID: Monitora o leitor de cartoes RFID. Qundo o mesmo apresentar*
* um pulso (unico) baixo, indica evento de leitura de cartao. Seta entao a va- *
* riavel global achouRFID, para sinalizar o fim do percurso sobre a faixa.    *
*****/
task supervisionaRFID(){
    nSchedulePriority      = 150;
    while (true){
        wait1Msec(TICK_RFID);
        if (SensorRaw[S3] < 500) {
            achouRFID = true;
        }
    }
}

task main() {
    nSchedulePriority      = 100;
    nMaxRegulatedSpeed     = 750;    // max regulated motor speed level
    bMotorReflected[motorA] = true;
    bMotorReflected[motorC] = true;

    aproxima();

    StartTask(supervisionaRFID);

    segueFaixa();

    motor[motorA] = 0;
    motor[motorC] = 0;

    StopAllTasks();
}

```

Anexo IV Tópicos complementares sobre RFID

Histórico da tecnologia RFID

Década	Eventos
1940 - 1950	<p>O Radar foi aprimorado e usado como esforço demandado pela II Guerra.</p> <p>Um dos primeiros, senão o primeiro, trabalho explorando RFID é o paper de Harry Stockman, "Communication by Means of Reflected Power" de outubro de 1948. Stockman sentenciou que "Evidentemente, considerável trabalho de pesquisa e desenvolvimento precisa ainda ser feito antes que os problemas básicos restantes na comunicação por potência refletida sejam resolvidos, e antes que o campo de aplicações úteis seja explorado".</p>
1950 - 1960	<p>Explorações iniciais. Experimentos de laboratórios.</p> <p>Os anos 50 foram uma era de explorações de técnicas de RFID, como consequência do desenvolvimento do rádio e radar nos anos 30 e 40. Muitas tecnologias foram exploradas, como a de identificação de longa distância para aeronaves conhecido como "identification, friend or foe" (IFF). Os desenvolvimentos nos anos 50 incluem trabalhos como os de F. L. Vernon "Application of the microwave homodyne", e os de D.B. Harris, "Radio transmission systems with modulatable passive responder".</p>
1960 - 1970	<p>Desenvolvimento da teoria da RFID. Início dos testes de aplicações em campo.</p> <p>R. F. Harrington estudou a teoria eletromagnética relacionada a RFID em seus trabalhos "Field measurements using active scatterers" e a "Theory of loaded scatterers" entre 1963-1964. Os inventores se ocuparam com trabalhos relacionados à RFID tais como "Remotely activated radio frequency powered devices" de Robert Richardson em 1963, "Communication by radar beams" de Otto Rittenback em 1969, "Passive data transmission techniques utilizing radar beams" de J. H. Vogelmann em 1968 e "Interrogator-responder identification system" de J. P. Vinding em 1967.</p> <p>As atividades comerciais estavam começando nos anos 60. As companhias Sensormatic e Checkpoint foram fundadas em fins da década de 60. Estas, juntamente com outras tais como Knogo, desenvolveram o sistema "electronic article surveillance" (EAS) para conter o roubo em lojas. Estes sistemas são frequentemente baseados em Tags de ' 1-bit ' - somente a presença ou a ausência da Tag podem ser detectadas, mas a sua fabricação tornou-se viável e de baixo custo tornando-se uma medida anti-roubos efetiva. Estes tipos de sistemas usaram a microonda ou a tecnologia indutiva. EAS é alegadamente o primeiro e mais difundido uso comercial de RFID.</p>
1970 - 1980	<p>Explosão do desenvolvimento da tecnologia RFID.</p> <p>Aceleração dos testes com RFID.</p>

	<p>Implementações pioneiras</p> <p>Notáveis avanços começaram a ser percebidos em laboratórios de pesquisas tais como Los Alamos Scientific Laboratory, Northwestern University, e Microwave Institute Foundation na Suécia entre outros. Um pioneiro e importante desenvolvimento foi o trabalho de Los Alamos apresentado por Alfred Koelle, Steven Depp e Robert Freyman "Short-range radio-telemetry for electronic identification using modulated backscatter" em 1975.</p> <p>Grandes companhias estavam também desenvolvendo a tecnologia RFID, como a Raytheon com sua "Raytag" in 1973. A RCA e Fairchild estiveram ativas com Richard Klensch da RCA desenvolvendo um "Electronic identification system" em 1975 e F. Sterzer da RCA desenvolvendo uma "Electronic license plate for motor vehicles" em 1977. Thomas Meyers e Ashley Leigh da Fairchild desenvolveram também uma "Passive encoding microwave transponder" em 1978.</p> <p>As autoridades portuárias de NY e New Jersey testaram também sistemas feitos pela General Electric, Westinghouse, Philips e Glenayre. Os resultados foram favoráveis, mas a primeira aplicação bem sucedida de RFID em transportes, cobrança eletrônica de pedágio, ainda não estava pronta neste período.</p>
1980 - 1990	<p>Entram em cena as aplicações comerciais.</p> <p>Os anos 80 foram a década da implementação plena da tecnologia RFID, apresentando progressos em áreas distintas de aplicação nas diferentes partes do globo. Nos EUA, os principais enfoques foram em transportes, acesso de pessoal e menos expressiva, a identificação de animais. Na Europa, priorizou-se a identificação de animais, aplicações industriais e de negócios e em rodovias pagas, equipando estradas na Itália, França, Espanha, Portugal, e Noruega.</p> <p>A tecnologia RFID encontrou uma de suas grandes vocações na cobrança eletrônica de pedágios em estradas.</p>
1990 - 2000	<p>Início das definições e adoção de padrões.</p> <p>A RFID é aplicada amplamente com grande distribuição entre consumidores, tornando-se parte do dia a dia das pessoas.</p> <p>Esta foi uma significativa década para a RFID, especialmente devido à larga utilização que os sistemas de pedágio proporcionaram. Os aperfeiçoamentos permitiram que os carros fossem identificados em rodovias na sua velocidade normal de trajeto (Oklahoma, 1991).</p> <p>Alguns padrões foram definidos e começaram a ser adotados, como o "Title 21" e o "Georgia 400", permitindo que carros de uma localidade pudessem usar o sistema eletrônico de pedágio de outra região. Na região nordeste dos EUA, sete agências de pedágio consorciaram-se para criar o "E-Z Pass Interagency Group (IAG)" em 1990.</p> <p>Uma outra grande aplicação em larga escala surgiu, com a criação de sistemas como o TIRIS da Texas Instruments. Este sistema consiste de uma TAG embutida na chave de ignição funcionando como um meio de autenticação sobre todo o sistema eletrônico do carro. Assim impede o roubo com ligação</p>

	<p>direta ou chaves falsas.</p> <p>Além das aplicações pioneiras, inúmeros outros usos populares foram implementados e adotados amplamente em todo o mundo, inclusive no Brasil, entre pedágios, acesso a estacionamentos, identificação de empregados, parques, etc...</p>
O século 21	<p>Consolidação dos padrões mundiais.</p> <p>Redução do custo das etiquetas para identificação de produtos a valores inferiores a US\$ 0,10.</p> <p>Adesão de grandes fornecedores e distribuidores ao uso na identificação de produtos.</p> <p>Um dos maiores desafios da tecnologia RFID tem sido o seu emprego na identificação de produtos para o varejo. Se por um lado os ganhos de funcionalidade dessa evolução tecnológica sobre o código de barras é muito significativo, por outro, a tecnologia vigente é altamente consolidada, padronizada, barata e eficiente quanto a sua robustez.</p> <p>A cadeia de suprimentos torna a padronização mundial obrigatória, pois os produtos são distribuídos e consumidos globalmente. Tanto países, como grandes distribuidores e fornecedores, não aceitam estar sob o controle tecnológico de patentes específicas, o que é uma característica predominante deste século devido ao sucesso recente dos padrões abertos.</p> <p>Em contraponto às enormes dificuldades para vencer tamanhas barreiras há o igualmente grande interesse em dotar os produtos, mesmo os de baixo custo, como caixas de detergente, garrafas de refrigerante, com etiquetas eletrônicas padronizadas, vindo a baratear o processo de fornecimento como um todo, da produção à distribuição, e por agregar características de controle, tão necessárias em medicamentos por exemplo.</p> <p>Como resposta às demandas dos meios econômicos, organizaram-se esforços de padronização e universalização da tecnologia RFID para os fins de uso na cadeia de suprimentos. Estes culminaram com a publicação da versão 1 do padrão EPC em meados de 2004 (veja adiante). Diversos compromissos foram assumidos por grandes corporações como a Johnson, Gillette e Procter & Gamble no lado dos fornecedores, WalMart como distribuidor, e outros no sentido de adequarem seus produtos e instalações ao uso de etiquetas RFID. A FDA recomendou, em fevereiro de 2004, a adoção da tecnologia como solução contra os falsificadores de medicamentos.</p>

Exemplos de usos de RFID

A combinação de características únicas e um preço cada vez mais atraente faz com que a diversidade de aplicações das etiquetas RFID não tenha limites. Destacam-se abaixo alguns usos mais comuns e também alguns exemplos de quão exótico pode ser o seu emprego.

Logística, armazenagem e transporte:

Produtos são armazenados em unidades de armazenamento e movimentação, tais como paletes ou contêineres. Etiquetas podem ser usadas para ajudar a controlar essas unidades, o seu conteúdo e para garantir o encaminhamento correto, pois é comum em um armazém com diversas docas um palete ser encaminhado para o destino errado. Isto é particularmente prejudicial em caso de alimentos perecíveis.



Automação industrial:

Em uma fábrica, diversos produtos são combinados para a fabricação de algo. Assim o é, seja na indústria automobilística ou aeronáutica ou alimentícia. As Etiquetas podem ser um meio de identificação dos componentes quando aplicadas diretamente sobre as peças ou ainda nos dispositivos de transporte interno, como bandejas, carrinhos, baldes, etc... a rapidez de reconhecimento e a possibilidade de se gravar e regravar são elementos chave neste uso. Na indústria alimentícia as etiquetas são úteis ainda por poderem estar embutidas, facilitando os processos de lavagem e esterilização.

Existem muitas formas de emprego de etiquetas em automação industrial. Alguns exemplos adicionais: Sinalização de rotas internas em uma linha de produção, identificação de ferramentas intercambiáveis de máquinas operatrizes e robôs, roteamento de unidades em processo de produção baseados em dados da própria linha de produção, como resultados de testes e muitos outros.

Pedágio automatizado:

Esta aplicação é bastante conhecida, onde usuários mensalistas portam etiquetas adaptadas em seus veículos e assim não precisam parar nos pedágios para pagá-los. A tarifação da via é automaticamente registrada e a conta é paga periodicamente para o total de uso do período. Em alguns países esta utilização, que é opcional, sofre algumas barreiras por predispor o usuário a uma possível perda de privacidade, já que os funcionários de uma estrada ou ponte poderão saber que um carro, pertencente a um indivíduo identificável, pratica determinado perfil de movimentação.



Competições esportivas:

Competições como maratonas, rallies ou enduros, são facilmente monitoráveis com o porte de etiquetas pelos atletas. Assim é possível ter um acompanhamento ao vivo do andamento de uma prova, colocando-se leitores distribuídos pelo trajeto. Também é possível usar as etiquetas para registrar as passagens pelos pontos de controle em um rally e para identificar o atleta em sistemas de cronometragem.

Controle de acesso:

Este é um dos usos que vem evoluindo cada vez mais, sendo utilizados tanto para definir regras de acesso e movimentação de pessoas em locais de trabalho, podendo facilmente estar integrado com sistemas que guardam perfis de segurança e autorizações de acesso.

Controle de usuários em parques de lazer, acampamentos e clubes:

Tanto podem ser usadas para garantir acesso apenas a usuários que possuem tal direito, como sócios ou pagantes, quanto podem auxiliar na localização de pessoas e especialmente crianças, com grande facilidade, evitando o risco de desencontro destes com seus pais.

Identificação de animais em rebanhos:

A manutenção e o manejo de animais é um processo complexo, onde diversas situações devem ser acompanhadas, rastreadas e controladas. Assim um pecuarista pode saber com precisão por onde andou e o que comeu cada animal, se já tomou determinado medicamento ou vacina, pode-se automatizar o acompanhamento da evolução do peso e muitas outras coisas que, sem a simplicidade e confiabilidade de leitura e escrita das etiquetas, seria impraticável. Alguns acontecimentos recentes, envolvendo epidemias ou riscos à saúde pública como o caso da Vaca Louca, estão levando os países a adotar políticas que exigem o uso de tecnologia de rastreio de animais. Estas práticas já são bastante difundidas em países como Austrália e Japão e estão em processo de transposição de algumas barreiras culturais, especialmente o medo da perda de privacidade, em países como os Estados Unidos.



Substituição dos códigos de barras nos produtos das prateleiras dos supermercados:

Esta aplicação enfrentou barreiras muito grandes que vem sendo trabalhadas ao longo do tempo. Uma delas é o preço da etiqueta, que atualmente beira os US\$0,10. Os varejistas parecem concordar que um valor mais atraente e aceitável estará em torno de US\$0,05. Outra grande barreira que vem sendo vencida é o estabelecimento e a adoção generalizada de padrões internacionais públicos, livres de royalties, permitindo a qualquer fabricante produzir etiquetas sob uma mesma especificação padrão sem correr o risco de monopólio.

Controle de medicamentos:

As etiquetas RFID tornam possível rastrear itens de medicamentos individualmente, podendo ser empregadas para coibir falsificações, vendas ilegais de remédios controlados, prazos de validade entre outros.

O Desafio da Década Atual - RFID na Cadeia de Suprimentos

Comunidade Normatizadora Internacional

Há um órgão internacional, baseado em filiações, chamado EPCGlobal (www.epcglobalinc.org; EPC = Electronic Product Code). A EPCGlobal é uma instituição que congrega um esforço conjunto de outras organizações como EAN International e UCC (Uniform Code Council) e o MIT.

Diversas empresas de grande porte como Wal Mart, Procter & Gamble, Target, Johnson & Johnson, Gillette, IBM, SUN, Texas, Philips e outras são afiliadas, conferindo grande representatividade à instituição. A EPCGlobal constitui um comitê decisório formado dentre os seus afiliados. O Brasil participa deste comitê conforme detalhado abaixo, no qual tem assento pouco mais de 10% dos membros da instituição.

EPCglobal Board of Governors

EPCglobal Inc. is a joint venture between EAN International and the Uniform Code Council (UCC) and is governed by the EPCglobal Board of Governors.

The Board of Governors of EPC Global will guide the organization towards achieving worldwide adoption and standardization of EPC technology in an ethical and responsible way. The Board will have between 15 and 21 members with an emphasis on end-users of the technology who are early adopters. The composition of the board will reflect the diversity of industries and geographies that EPC technology will span in the coming decades. Members of the board will be selected not only for their organizational affiliations, but also for individual expertise, their personal commitment and their leadership in global commerce. Current members of the EPCglobal Board of Governors include:

EPCglobal é uma joint venture entre a EAN Internacional e o UCC, sendo governada pela EPCglobal Board of Governors (Mesa Gestora).

A Mesa Gestora irá guiar a organização no sentido de promover a adoção mundial e a padronização de sua tecnologia de forma ética e responsável. Será formada por entre 15 a 21 membros, com ênfase nos que representam os usuários finais da tecnologia, os quais a adotaram pioneiramente. A composição da mesa vai refletir a diversidade de indústrias e geografia por onde a tecnologia EPC irá se espalhar nas próximas décadas. Membros da Mesa serão selecionados não apenas pelas suas afiliações organizacionais, mas também por sua expertise individual, nível de comprometimento pessoal e por sua liderança no comércio global. Os atuais membros incluem:

Mr. Richard Cantwell The Gillette Company	Mr. Michael Di Yeso Uniform Code Council, Inc.
Mr. Steve Coussins e.Centre	Mr. Alan Estevez Office of the Secretary of Defense
Mr. Stephen N. David The Procter & Gamble Company	Mr. Zygmunt Mierdorf METRO AG
Ms. Linda Dillman Wal*Mart Stores, Inc.	Mr. Sergio Ribinik EAN Brasil
Mr. Claus Garbisch DHL Solutions	Mr. Pat J. Rizzotto Johnson & Johnson
Mr. Richard Lampman Hewlett-Packard	Mr. Hiroshi Sakai DCC (The Distribution Code Centre) - EAN Japan
Mr. Mohsen Moazami Cisco Systems, Inc.	Dr. Sanjay Sarma Massachusetts Institute of Technology OATSystems

EAN BRASIL - Os Padrões Sobre RFID no Brasil

(www.eanbrasil.org.br)

Constituída oficialmente em 8 de novembro de 1983, a ABAC - Associação Brasileira de Automação Comercial - atualmente EAN BRASIL, começou a ser delineada em fevereiro daquele ano, quando a SEI - Secretaria Especial de Informática - convocou empresas do comércio para elaborar um documento refletindo as necessidades do setor com relação a automação comercial.

Desta convocação surgiu a CEAO - Comissão Especial para a Automação das Operações Comerciais -, que se propôs a diagnosticar a situação da automação comercial no Brasil e apontar as providências indispensáveis ao seu desenvolvimento.

Ao apresentar suas conclusões à SEI, os integrantes da CEAO - da qual faziam parte representantes da ABRAS (Associação Brasileira de Supermercados), da ABAD (Associação Brasileira de Distribuidores Atacadistas de Produtos Industrializados) e da CNDL (Confederação Nacional de Diretores Lojistas) -, decidiram criar uma associação que assegurasse a legitimidade e a legalidade do processo de automação: a ABAC (Associação Brasileira de Automação Comercial).

Em junho de 1984, com a reunião de empresários e executivos da indústria e do comércio interessados no desenvolvimento do processo de automação, a ABAC realizou o seu primeiro congresso a nível nacional. Nesse encontro chegou-se à conclusão de que era primordial a implantação do Código Nacional de Produtos (código de barras) no Brasil.

Apresentada ao governo, a recomendação foi transformada em lei (Decreto 90.595, de 29 de novembro de 1984) e em 12 de dezembro de 1984 era publicada a Portaria 143 do Ministério da Indústria e Comércio, conferindo à ABAC a responsabilidade de orientar e administrar a implantação do Código Nacional de Produtos no país.

DECRETO Nº 90.595 - 29 DE NOVEMBRO DE 1984

"O Presidente da República, usando das atribuições que lhe confere o artigo 81, inciso III, da Constituição, decreta:

Art. 1º Fica criado o Sistema de Codificação nacional de Produtos, e definido o Padrão Internacional EAN, para todo Território Nacional. Parágrafo único - A Codificação nacional de Produtos de que trata este artigo, visa a identificação de Produtos, por equipamentos de automação, nas operações do Comércio, no Mercado Interno.

Art. 2º O Ministério da Indústria e do Comércio baixará normas complementares sobre implantação do Sistema.

Art. 3º Este Decreto entrará em vigor na data de sua publicação.

Art. 4º Ficam revogadas as disposições em contrário."

PORTARIA Nº 143 - 12 DE DEZEMBRO DE 1984

"O Ministro do Estado da Indústria e do Comércio, no uso de suas atribuições e tendo em vista a redação do artigo 2º, do Decreto n. 90.595, de 29 de novembro de 1984, Considerando as conclusões do Grupo de Trabalho criado pela Portaria MIC n. 55, de 1º de agosto de 1984, resolve:

Art. 1º. Conferir à ABAC - Associação Brasileira de Automação Comercial a competência para administrar, em todo Território Nacional, o Código Nacional de Produtos, Padrão EAN, aprovado pelo Decreto n. 90.595, de 29 de novembro de 1984.

Art. 2º. O Conselho de Desenvolvimento Comercial, através de seu Secretário-Executivo ou de seu substituto legal, coordenará a implantação do Sistema de Codificação nacional de Produtos.

Art. 3º. A implantação do Sistema de Codificação nacional de Produtos obedecerá ao Cronograma anexo, que faz parte integrante desta Portaria.

Parágrafo 1º - O Secretário-Executivo, na qualidade de Coordenador da implantação do Sistema, poderá concordar com eventuais alterações no Cronograma de Implantação, desde que motivos relevantes aconselham revisão das metas e/ou prazos nele estabelecidos.

Parágrafo 2º - As normas de que trata o Estágio 05 do Cronograma, serão estabelecidas pelo SINMETRO - Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, na forma da Lei n. 5.966, de 11 de setembro de 1973, compatibilizando-as com as normas internacionais.

Art. 4º. Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação. "

Para viabilizar este projeto havia a necessidade de se adotar um padrão internacional. Desta forma, optou-se pelo padrão EAN International. Na condição de 26º país afiliado, o Brasil recebeu seu número código, a flag 789, em maio de 1985.

Em 1994, com o objetivo de fortalecer a imagem da Entidade em todos os seus campos de atuação, a Associação Brasileira de Automação Comercial mudou sua sigla de ABAC para EAN BRASIL. Era necessário desvincular a sigla de um único segmento e tornar a associação reconhecida nacional e internacionalmente, como representante legal responsável pela utilização dos Sistemas EAN no Brasil.

Desta forma, a EAN BRASIL tem atuado no sentido de estabelecer normas técnicas necessárias, promover a cooperação entre parceiros comerciais, assegurar apoio aos empresários - com relação às exigências das autoridades - divulgar novas tecnologias e, principalmente, incentivar a modernização.

A EAN International

Since the world is working ever-closer together, businesses have to adapt in many ways. Rapid evolution of roles within the value chain, shifting demand patterns, new channels of distribution, and increased service expectations from customers raise the need for improved business solutions.

Desde que o mundo atua cada vez mais em conjunto, os negócios têm que adaptar-se de muitas maneiras. A evolução rápida dos papéis dentro da cadeia de valores, deslocando padrões de demanda, novos canais de distribuição, e as crescentes expectativas por serviços vindas dos clientes levantam a necessidade de melhores soluções de negócio.

It all started in 1974, when manufacturers and distributors of 12 European countries formed an ad-hoc council. Its brief was to examine the possibility of developing an uniform and standard numbering system for Europe, similar to the UPC system already in operation in the USA. As a result , a UPC compatible system called "European Article Numbering" was created.

Tudo isto começou em 1974, quando fabricantes e distribuidores de 12 países europeus formaram um conselho com propósito específico. O seu objetivo era examinar a possibilidade de desenvolver um sistema de numeração uniforme e padronizado para a Europa, similar ao sistema UPC já em operação nos EUA. Como um resultado, foi criado um sistema compatível com o UPC, chamado "European Article Numbering".

The actual EAN association was formed in February 1977. The new body was set up as a not-for-profit international association under Belgian law with a Brussels based Head Office. Its aim was and still is the development of a set of standards enabling the efficient management of global, multi-industry supply chains by uniquely identifying products, shipping units, assets, locations and services. It facilitates electronic commerce processes including full tracking and traceability.

A EAN atual foi constituída em 1977. O novo perfil foi delineado como uma associação internacional sem fins lucrativos, sob a lei belga e com um escritório central baseado em Bruxelas. Seu alvo era e é ainda o desenvolvimento de um conjunto de padrões permitindo o gerenciamento eficiente de uma cadeia de suprimentos global e multi-industrial, por meio da identificação única de produtos, unidades de remessa, recursos, locais e serviços. Facilita os processos de comércio eletrônico incluindo total monitoramento e rastreabilidade.

The global and international status was quickly acquired through extending membership to organisations from other continents. To reflect the increasing internationalisation, the name was changed to EAN International in 1992.

O status global e internacional foi rapidamente conquistado pela extensão da sociedade a organizações de outros continentes. Para refletir a crescente internacionalização, o nome foi mudado para EAN international em 1992.

Today EAN International has 101 Member Organisations representing 103 countries. These organisations provide full support and information to their local member companies. Nearly one million member companies benefit from using the EAN.UCC system.

Hoje a EAN International tem 101 Organizações Membros, representando 103 países. Essas Organizações proporcionam total suporte e informação às suas companhias membro locais. Aproximadamente um milhão de companhias membro se beneficiam do uso do sistema EAN.UCC.

Os Padrões Publicados pela EPCGlobal

A Versão 1 dos padrões EPC foi liberada em meados de 2004. Os componentes da tecnologia RFID segundo estes padrões apresentam os elementos chave abaixo descritos:

- **Número EPC:** Identificador global e único, utilizado para acessar os dados na rede EPC. Acomoda as informações do GTIN - Identificador Global de Item Comercial, que identifica os produtos no Sistema EAN UCC.

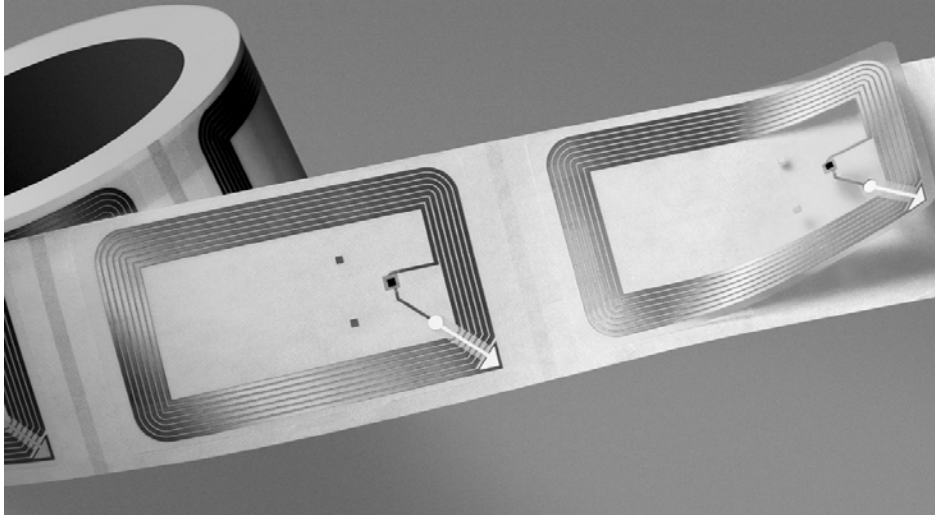
Estrutura de um identificador Genérico padrão:

- *General Manager Number* – É atribuído pela EPCGlobal a uma Entidade de Gerenciamento que pode ser um organismo responsável por algum sistema de identificação em um contexto regional. Por exemplo a EAN Brasil é a autoridade responsável por definir códigos de produtos nacionais. Uma entidade controladora dos sistemas de transportes, como o DNIT é um outro exemplo para componentes de uma malha viária.
- *Object Class* – Deve ser único dentro do contexto do General Manager Number. Refere-se ao tipo de “coisa” a ser identificada. Por exemplo, um item de controle de estoque ou tipo de produto distinto quanto a marca, modelo e forma de apresentação ou acondicionamento. Em um sistema de transporte, pode se referir a tipos distintos de estrutura, como tipos de artefatos de sinalização, pontes(genéricas), tipos de equipamentos de monitoramento, etc..
- *Serial Number* – A entidade gerenciadora é responsável por fazer garantir que qualquer instância ou elemento individual de cada tipo terá um número distinto dos outros elementos similares dentro do mesmo contexto.

Existem 5 estruturas de códigos definidas no padrão, já com finalidades específicas. Estas são derivadas dos padrões antigos já existentes nos identificadores de códigos de barras. Em geral, o novo padrão ganha um nr de série para conferir unicidade ao identificador:

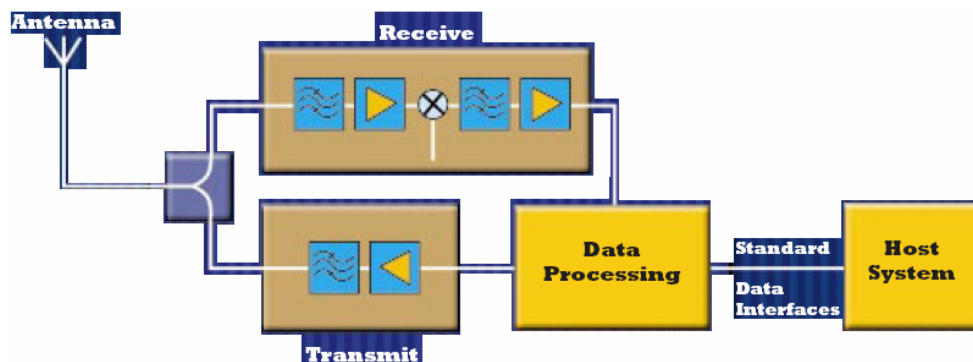
Serialized Global Trade Identification Number (SGTIN)
 Serial Shipping Container Code (SSCC)
 Serialized Global Location Number (SGLN)
 Global Returnable Asset Identifier (GRAI)
 Global Individual Asset Identifier (GIAI)

- **Etiqueta EPC:** É composta de um componente eletrônico (chip semiconductor) que tem o seu número de identificação gravado e um transmissor conectado a uma antena. As etiquetas podem ser confeccionadas em todos os tamanhos e formatos, com espessura tão fina que permite a aplicação na superfície dos produtos. Algumas têm a capacidade adicional de registrar novos dados.



- **Leitor de Radiofrequência:** Emite ondas magnéticas que aciona a etiqueta RFID, permitindo que transmita de volta a informação armazenada no micro-chip. Decodifica, verifica, armazena os dados e se comunica com o computador.

A Unidade Leitora:



Leitora produzida e comercializada pela Texas



- **Savant™ (atua como o sistema nervoso da rede):** Também chamado de EPC *Middleware*, recebe o código pelo leitor, pergunta ao ONS onde encontrar informação sobre um produto, e então busca os dados na rede, conforme definido pelo ONS.
- **Serviço de Nomeação de Objeto (ONS):** Bastante semelhante ao Serviço de Nome de Domínio (DNS) da Internet. O serviço ONS traduz números EPC para endereços da Internet. Isso faz com que as consultas de informações baseadas em número EPC sejam remetidas para os bancos de dados que contenham as informações solicitadas.
- **EPC- IS:** Sistema de informação que mantém todos os dados EPC com regras de acesso, controle, autorização e autenticação. O PML - Physical Markup Language é o vocabulário definido em XML, que permite a consulta e a obtenção de dados relativos aos números EPC.

Atualmente as especificações liberadas estão em sua primeira versão. Adiante o texto original da apresentação dessas especificações, incluindo os seus componentes, cujo detalhamento técnico (o padrão em si) não será transcrito para o presente trabalho por motivos de preservação de sua objetividade.

Version 1.0 Specifications

Specifications provide the overall system definition and how functional requirements are partitioned across various subsystems. They signify the output that advances a community toward a common objective, namely, to create an EPCglobal Network that End Users can examine for their supply chain implementations.

The set of specifications that comprise Version 1.0 provide many of the building blocks required to implement an EPCglobal Network. The Version 1.0 Specifications are at various stages of completion. Some have reached recommendation status, where final approval is imminent. Others are in working draft form where additional definition is required. We would

encourage you to examine them closely and become involved in the on-going definition process.

All Version 1.0 Specifications are currently available to EPCglobal Subscribers and the general public. EPCglobal will launch a solution center for subscribers during the summer of 2004 to access board ratified standards and other implementation-related information to enable the adoption of the EPCglobal Network. Look for more information coming soon.

Version 1.0 Specifications

1. **EPC Tag Data Specification Version 1.1** -- This EPCglobal Board Ratified specification identifies the specific encoding schemes for a serialized version of the EAN.UCC Global Trade Item Number (GTIN®), the EAN.UCC Serial Shipping Container Code (SSCC®), the EAN.UCC Global Location Number (GLN®), the EAN.UCC Global Returnable Asset Identifier (GRAI®), the EAN.UCC Global Individual Asset Identifier (GIAI®), and a General Identifier (GID).
2. **900 MHz Class 0 Radio Frequency (RF) Identification Tag Specification.** This document specifies the communications interface and protocol for 900 MHz Class 0 operation. It includes the RF and tag requirements and provides operational algorithms to enable communications in this band.
3. **13.56 MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency (RF) Identification Tag Interface Specification.** This specification defines the communications interface and protocol for 13.56 MHz Class 1 operation. It also includes the RF and tag requirements to enable communications in this band.
4. **860MHz -- 930 MHz Class 1 Radio Frequency (RF) Identification Tag Radio Frequency & Logical Communication Interface Specification.** This document specifies the communications interface and protocol for 860 - 930 MHz Class 1 operation. It includes the RF and tag requirements to enable communications in this band.
5. **Reader Protocol.** This specification defines the communications messaging and protocol between tag readers and EPC compliant software applications, including Savant.
6. **Savant Specification.** This specification defines the services Savant performs for application requests within the EPCglobal Network.
7. **Physical Markup Language (PML) Core Specification, Extensible Markup Language (XML) Schema and Instance Files.** The PML Core specification establishes a common vocabulary set to be used within the EPCglobal Network. It provides a standardised format for data captured by readers. This specification also includes XML Schema and Instance files for your reference.
8. **Object Name Service (ONS) Specification.** This document specifies how the ONS is used to locate authoritative meta-data and services associated with a given Electronic Product Code (EPC).